

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la
Universidad Politécnica de Madrid



PROYECTO FINAL DE GRADO

**“Análisis de descriptores perceptuales para la caracterización
del habla de pacientes de la apnea obstructiva del sueño”**

Autor: Laura Soria Simón

Tutor: D. Luis Alfonso Hernández Gómez

Departamento: Señales, Sistemas y Radiocomunicaciones

Miembros del Tribunal

Presidente: D. Jesús Alcázar Fernández

Vocal: D. Luis Alfonso Hernández Gómez

Secretario: D. Eduardo López Gonzalo

Suplente: D. Mariano García Otero

Fecha de lectura y defensa:

Calificación obtenida:

Madrid, Junio de 2015

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN**



PROYECTO FINAL DE GRADO

**“ANÁLISIS DE DESCRIPTORES PERCEPTUALES PARA LA
CARACTERIZACIÓN DEL HABLA DE PACIENTES DE LA
APNEA OBSTRUCTIVA DEL SUEÑO”**

Laura Soria Simón

2015

RESUMEN

A día de hoy, a pesar de todos los avances médicos y tecnológicos, no existe una prueba capaz de diagnosticar el Síndrome de Apneas-Hipopneas durante el Sueño (SAHS) o Síndrome de Apnea del Sueño (SAS), con una prueba in-situ rápida y eficaz. La detección de este trastorno, se lleva a cabo con una prueba larga y costosa, en la que el paciente debe pasar una noche hospitalizado y monitorizado en todo momento. Además, en nuestro país, la mayoría de centros que realizan esta prueba pertenecen a la Seguridad Social, por lo que la lista de espera es considerablemente larga.

Con el fin de minimizar tiempo y costes de diagnóstico de esta patología, el Grupo de Aplicaciones de Procesado de Señales (GAPS) lleva años trabajando en el desarrollo de una herramienta de apoyo, basada en el análisis de la señal de voz, que proporcione una alternativa a los métodos de diagnóstico actuales. En definitiva, desarrollar una prueba in-situ capaz de diagnosticar esta enfermedad.

El Síndrome de Apnea del Sueño (SAS) es un trastorno muy prevalente y con muy bajo índice de casos diagnosticados. Se define como un cuadro de somnolencia excesiva, trastornos cognitivos-conductuales, respiratorios, cardíacos, metabólicos o inflamatorios secundarios a episodios repetidos de obstrucción de la vía aérea superior (VAS) durante el sueño. Esta obstrucción se produce por el colapso de las partes blandas de la garganta, impidiendo una correcta respiración, y como consecuencia, interrupciones del sueño no consciente e hipoxia.

En este contexto se ha desarrollado un Proyecto de Fin de Grado conjunto las Srtas. Laura Soria Simón y Bárbara Recarte Steegman. Se estructura en tres bloques: análisis perceptual conjunto, estudio de técnicas de clasificación (Laura) y estudio acústico (Bárbara). Los resultados y conclusiones correspondientes al estudio de las técnicas de clasificación de los descriptores perceptuales y global del proyecto, se recogen en el presente documento.

Hemos utilizado distintas técnicas de clasificación y regresión, y como estudio de referencia tenemos el realizado por Fox y Monoson. En concreto, modelos lineales y modelos basados en Random Forests, tratando de determinar qué segmentos o frases proporcionan información más completa sobre las peculiaridades de los pacientes con SAS.

Al final del camino, gracias al estudio realizado, es posible determinar si estas técnicas son válidas para determinar las características necesarias para la detección y diagnóstico del SAS.

PALABRAS CLAVE:

Síndrome de Apnea del Sueño (SAS), Índice de Apnea-Hipopnea (IAH), Random Forests, diagnóstico, vía aérea superior (VAS), señal de voz, procesamiento de la señal de voz, variables clínicas.

ABSTRACT

Today, despite all the technological and medical advances, we still don't have an effective and in-situ test that is capable of diagnosing the Sleep Apnea-Hypopnea Syndrome (SAHS) or the Sleep Apnea Syndrome (SAS). These syndromes are detected utilizing a time-consuming and costly test where the patient must spend a night in the hospital where he is monitored constantly.

Moreover, in our country, most centers that carry out these tests belong to the Social Security meaning waitlists can be very long. With the objective of minimizing time and cost of diagnosing this pathology, the Group of Signal Processing Applications (GAPS) has spent years developing a tool that, based on the analysis of voice signals, provides an alternative detection method to the existing tests. Ultimately, develop an in-situ test that is capable of diagnosing these syndromes.

The SAS is a very prevalent disorder that has a very low ratio of diagnosed cases. Sleep apnea is a condition in which breathing stops for more than ten seconds during sleep. Sleep apnea is a major, though often unrecognized, cause of daytime sleepiness. It can have serious negative effects on a person's quality of life.

In this context, this PFG has been developed by Laura Soria Simón and Bárbara Recarte Steegman. It is structured in three different sections: Perceptual Analysis, Classification Techniques Study (Laura) and Acoustic Study. Results and conclusions obtained from the classification techniques of the perceptual markers and the project as a whole are gathered in this document.

We have utilized different classification and regression techniques, and, as a reference study, we have used the Fox's and Monoson's study. Specifically, linear models and models based on Random Forests, trying to determine what segments or phrases provide more information about the nuances found on patients with SAS.

At the end of the road, because of the development of this study, it will be possible to determine if these techniques are valid to determine the necessary characteristics to detect and diagnose SAS.

KEYWORDS

Index Apnea-Hypopnea (IAH), Sleep Apnea and Hypopnea Syndrome during the Dream (SAHS), Sleep Apnea Syndrome (SAS), perceptual descriptors, voice signals, diagnosis, signal voice's processing, variables.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a todas las personas que me han acompañado en este largo de camino desde que comencé con mis estudios de grado, sin todos ellos no podría haber llegado hasta aquí.

En primer lugar, dar las gracias a nuestro tutor, Luis A. Hernández, por acogernos con los brazos abiertos, por su paciencia, su manera de trabajar y por todo lo que hemos aprendido con él y lo que nos queda por aprender. Ha sido un verdadero placer.

También me gustaría agradecerse a mis padres y a mi hermana que siempre han estado apoyándome, aconsejándome y dándome ánimos tanto en los buenos como en los malos momentos, ha sido un apoyo incondicional.

A todos mis compañeros de la universidad durante todos estos años con los que he compartido trabajos, exámenes, nervios, noches sin dormir y largas horas de estudio, en especial a mis amigos Juan Ignacio, Bárbara, Elena, Begoña, Berta y Almudena, que me han echado las dos manos siempre que lo he necesitado. Lo mejor que me llevo de la universidad sin ninguna duda.

En especial quiero compartirlo con mi amiga y compañera de equipo desde que nos conocimos, Bárbara. Al final lo conseguimos y por todo lo que nos queda por conseguir.

Por último, mi pilar fundamental en este largo camino recorrido, se lo agradezco especialmente a David. Él fue quien me animó en un principio a seguir y sobre todo cuando ni yo misma me creía que podría llegar a conseguirlo algún día. Ha ido quitando todas las barreras que pensaba tener y me ha hecho demostrarme que con esfuerzo y ganas todo se puede conseguir.

¡Muchísimas gracias a todos!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
GLOSARIO	10
INTRODUCCIÓN	11
EL SÍNDROME DE APNEAS-HIPOAPNEAS DEL SUEÑO	15
DEFINICIÓN	15
PREVALENCIA	16
FISIOPATOLOGÍA	16
CARACTERÍSTICAS CLÍNICAS	17
FACTORES PREDICTORES DE SAS.....	18
CONSECUENCIAS CLÍNICAS	19
Hipertensión arterial	19
Fibrilación auricular	19
Enfermedad cardiovascular.....	20
Accidentes cerebrovasculares:.....	20
Diabetes tipo II.....	20
Cáncer	20
DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO.....	20
CONTEXTO	24
OBJETIVOS	25
BASE DE DATOS Y HERRAMIENTAS.....	27
BASE DE DATOS.....	27
HERRAMIENTAS.....	28
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	29
ANÁLISIS PERCEPTUAL	29
REVISIÓN DE LA SEGMENTACIÓN FONÉTICA	37
TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN	40
TEST DE HIPÓTESIS	40
ÁRBOLES DE REGRESIÓN	45

Caso 1. Sanos y no sanos	45
Caso 2. Graves y no graves	49
Caso 3. Para todo IAH	52
CONCLUSIONES	55
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS.....	59
PROYECTO	59
ANALISIS BARBARA_LAURA_300.....	59
EXCEL.....	59
ARCHIVOS MATLAB	59

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESQUEMA GENERAL DE LA EVOLUCIÓN DEL PROYECTO.....	13
FIGURA 2: PALADAR OBSTRUIDO Y NO OBSTRUIDO	16
FIGURA 3: CONSECUENCIAS CLÍNICAS.....	19
FIGURA 4: APLICACIÓN DE PRESIÓN CONTINUA POSITIVA POR LA VÍA NASAL (CPAP)	21
FIGURA 5: SITUACIÓN DEL SAS EN ESPAÑA.....	22
FIGURA 6: DESARROLLO DE OBJETIVOS.....	26
FIGURA 7: PRIMER Y SEGUNDO FORMANTE EN UN ESPECTROGRAMA	37
FIGURA 8: ACÚSTICA EN EL TRACTO VOCAL HUMANO	38
FIGURA 9: DISTRIBUCIÓN FRECUENCIAL DE VOCALES EN EL TRACTO VOCAL.....	38
FIGURA 10: CORRECCIÓN DE SILENCIOS.....	39
FIGURA 11: CORRECCIÓN DE SECCIÓN.....	39
FIGURA 12: ALGORITMO DE LAS TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN	40
FIGURA 13: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA MEDIA Y DESVIACIÓN DE LOS DIFERENTES GRUPOS DE IAH	41
FIGURA 14: VALIDACIÓN CRUZADA – RESUBSTITUTION ERROR PARA EL CASO 1	47
FIGURA 15: ÁRBOL DE REGRESIÓN PARA EL CASO 1	48
FIGURA 16: VALIDACIÓN CRUZADA – RESUBSTITUTION ERROR PARA EL CASO 2	50
FIGURA 17: ÁRBOL DE REGRESIÓN PARA EL CASO 2	51
FIGURA 18: VALIDACIÓN CRUZADA – RESUBSTITUTION ERROR PARA EL CASO 3	53
FIGURA 19: ÁRBOL DE REGRESIÓN PARA EL CASO 3	54

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS CLÍNICAS DEL SAS.....	17
TABLA 2: PUNTOS FÍSICOS ESENCIALES A EVALUAR	18
TABLA 3: COMPARACIÓN DE ESPAÑA CON OTROS PAÍSES DESARROLLADOS EN RELACIÓN A LA PSG	23
TABLA 4: DISTRIBUCIÓN Y GRUPOS SEGÚN IAH.....	28
TABLA 5: NIVELES DE IAH	32
TABLA 6: GÉNERO DEL PACIENTE.....	32
TABLA 7: VARIABLES PERCEPTUALES DE LOS PACIENTES.....	32
TABLA 8: DESCRIPTORES PERCEPTUALES DE LA FRASE 1 EN LOS 20 PRIMEROS PACIENTES.....	33
TABLA 9: DESCRIPTORES PERCEPTUALES DE LA FRASE 2 EN LOS 20 PRIMEROS PACIENTES.....	34
TABLA 10: DESCRIPTORES PERCEPTUALES DE LA FRASE 3 EN LOS 20 PRIMEROS PACIENTES.....	35
TABLA 11: DESCRIPTORES PERCEPTUALES DE LA FRASE 4 EN LOS 20 PRIMEROS PACIENTES.....	36
TABLA 12: MEDIAS Y DESVIACIONES DE LOS DIFERENTES GRUPOS DE IAH	41
TABLA 13: GRUPOS DE P-VALOR	42
TABLA 14: RESULTADOS FAVORABLES DEL P-VALOR	42
TABLA 15: RESULTADOS PORCENTUALES OBTENIDOS.....	44
TABLA 16: MEDIDAS CON ÁRBOL DE REGRESIÓN PARA EL CASO 1	45
TABLA 17: MEDIDAS CON ÁRBOL DE REGRESIÓN PARA EL CASO 2	49
TABLA 18: MEDIDAS CON ÁRBOL DE REGRESIÓN PARA EL CASO 3	52

GLOSARIO

ACV – Accidente Cerebrovascular

CPAP - Presión Continua Positiva por Vía Nasal

DAM - Dispositivos de Avance Mandibular

DTW – Dynamic Time Warping

ESS – Epworth Sleepiness Scale

GAPS – Grupo de Aplicaciones de Procesado de Señales

GES – Grupo Español de Sueño

IAH - Índice de Apnea-Hipopnea

PR - Poligrafía Respiratoria

PSG - Polisomnografía

SAHS - Síndrome de Apneas-Hipopneas durante el Sueño

SAS - Síndrome de Apnea del Sueño

SEPAR – Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica

SHAS - Sleep Apneas-Hypopneas Syndrome during the Dream

VAS - Vía Aérea Superior

INTRODUCCIÓN

El Habla es un proceso complejo en el que intervienen multitud de órganos y sistemas perfectamente coordinados. Gracias al gran avance en los estudios de la fisiología de la voz, se han podido desarrollar modelos específicos para profundizar más en la naturaleza de la voz y los procesos que se llevan a cabo en la comunicación verbal.

El Grupo de Aplicaciones de Procesado de Señales (GAPS), en colaboración con varios Centros Hospitalarios, trabaja en la aplicación de Tecnologías del Habla como herramienta de apoyo al diagnóstico médico en diferentes patologías. En este marco se desarrolla este proyecto, como parte de un estudio centrado en el análisis de técnicas lingüísticas y acústicas, para la caracterización de voces patológicas asociadas al Síndrome de la Apnea del Sueño (SAS).

El SAS es el trastorno respiratorio más frecuente que se produce durante el sueño, afectando alrededor del 5 por ciento de los adultos. Este trastorno, consiste en una obstrucción periódica de la vía aérea superior en las horas pernoctas de una persona. Este estrechamiento, ya sea parcial (hipopnea) o total (apnea), se produce cuando la VAS se relaja en exceso, obstaculizando el paso de aire y dejando al paciente sin el oxígeno necesario para mantener un descanso continuo y estable, y un aumento de CO₂ en sangre. Estas personas experimentan fuertes ronquidos y dificultades respiratorias, además de micro despertares a lo largo de la noche. Existen diferentes grados de apnea, desde un nivel leve hasta uno severo, en función del Índice de Apnea-Hipopnea (IAH).

Es una enfermedad muy común y sin embargo, de difícil detección. Esto se debe a que la gente que la padece no es consciente mientras duerme, y la somnolencia que sufren suelen atribuirle a otras razones como el estrés. Los estudios realizados por la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR) sobre la población adulta, con media de edad entre 40 y 60 años, revelan que afecta alrededor del 4-6% de hombres y 2-4% de mujeres, y tan solo se detecta en torno al 5-9% en nuestro país (1).

Esta enfermedad tiene una serie de rasgos que suelen aparecer en un elevado porcentaje en todas aquellas personas que lo sufren. En primer lugar, hay que diferenciar entre hombres y mujeres, ya que existe una mayor prevalencia en los hombres. Por esta razón, se ha realizado el estudio únicamente sobre la población masculina. Los pacientes suelen seguir un marco clínico determinante que se caracteriza por la obesidad, maxilar inferior más corto en comparación con el maxilar superior, gran perímetro cervical, una lengua grande capaz de bloquear la vía respiratoria, obstrucción nasal, etc.

Entra las consecuencias de este tipo de enfermedad, están los accidentes de coche, paradas cardiorrespiratorias, degeneración cerebral, hipertensión arterial y trastornos psicológicos, entre otras. Si comparamos esto con el número de diagnosticados con el método actual, surge la necesidad de buscar un método alternativo que eleve ese porcentaje.

Actualmente, el procedimiento que se lleva a cabo para la detección del SAS es la Polisomnografía (PSG) o “estudio del sueño” y únicamente se aplica cuando ya se han descartado otras posibles afecciones. Se lleva a cabo durante la noche mientras el paciente duerme y por medio de varios tipos de sensores que registran una serie de constantes biológicas: las ondas eléctricas cerebrales, el nivel de oxígeno en sangre, la frecuencia cardíaca y respiratoria, el nivel de ronquidos, posición corporal, etc. Además, se hacen registros de esfuerzo ventilatorio, flujo del aire y de las diferentes fases del sueño. Es una prueba muy cara y de difícil interpretación, además de requerir la hospitalización del paciente.

De la necesidad de reducir tiempo y costes, y aumentar el porcentaje de diagnóstico, nace la idea de buscar nuevas técnicas alternativas a este proceso que se puedan realizar de forma más rápida y sencilla. Se ha centrado este estudio en los rasgos de la voz y en la respiración de hombres con SAS. Se ha estudiado la pronunciación en determinadas palabras, conjunto de palabras y unidades lingüísticas, la respiración alterada y la presencia de ruidos inusuales en gente sana, para desarrollar una nueva técnica que pueda clasificar, en cierta medida, aquellas personas padecedoras de esta enfermedad y estimar su nivel de apnea, IAH, mediante una clasificación. En otras palabras, nos centraremos en el estudio del Habla y lo que la caracteriza, para establecer marcadores que diferencien la voz afectada de la voz sana.

La vía aérea superior interviene en los procesos de emisión, resonancia y articulación de la voz, por lo que un fallo en su funcionamiento se refleja en los parámetros que caracterizan la voz. Sobre esta suposición basamos el estudio, en el que se analizan e identifican parámetros de la voz sana y la voz afectada por el SAS, para establecer marcadores que diferencien una de otra. A partir de estos marcadores, el objetivo es definir un estándar de voz patológica del SAS, que recoja mediante el procesamiento de la voz, las características que identifican esta patología, y justifique la incorporación de tecnologías del Habla en el proceso de diagnóstico para rebajar tiempo y costes.

El proceso seguido para esta clasificación consiste en primer lugar, en el análisis de diferentes audios pronunciados por un conjunto de pacientes varones con diferentes índices e apnea, y recoger mediante un análisis perceptual y subjetivo un conjunto de rasgos específicos con los que poder hacer una clasificación, como por ejemplo, la nasalización de ciertas palabras, conjunto de palabras o unidades lingüísticas.

En segundo lugar, una vez la lista está completa, estudiamos si estos parámetros son capaces de discriminar o no la apnea y tratar de hacer una clasificación. Para ello, hemos obtenido la correlación entre cada rasgo o marcador perceptual y los diferentes grupos de población con apnea bajo, alto o severa. Y a continuación, utilizándolos como características de entrada al clasificador, vemos qué capacidad de clasificar entre gente sana o con SAS tienen. Uno de los métodos de clasificación empleados es un test de hipótesis Naive Bayes (2), a partir del cual obtendremos el conjunto de resultados porcentuales basándonos en las variables perceptuales para poder hacer una clasificación sobre el estado de la persona, sana o no sana, y su índice de apnea en caso de que padezca el SAS. El segundo método empleado es un árbol de regresión que permite identificar cuáles son los marcadores perceptuales que presentan mayor capacidad para la detección del SAS y la dependencia en distintos niveles de los mismos.

En tercer lugar, se ha realizado un estudio acústico para comprobar si los resultados obtenidos a través de un análisis perceptual, se confirman con los obtenidos a partir de un análisis acústico espectral. De este modo, si un analizador acústico es capaz de encontrar las mismas características distintivas, que se marcan previamente en un estudio subjetivo y del mismo modo estos datos coinciden con un estudio paralelo de técnicas de clasificación, se pueden considerar dichas características como parámetros de diagnóstico del SAS. También se ha realizado una clasificación acústica de pacientes en función del IAH.

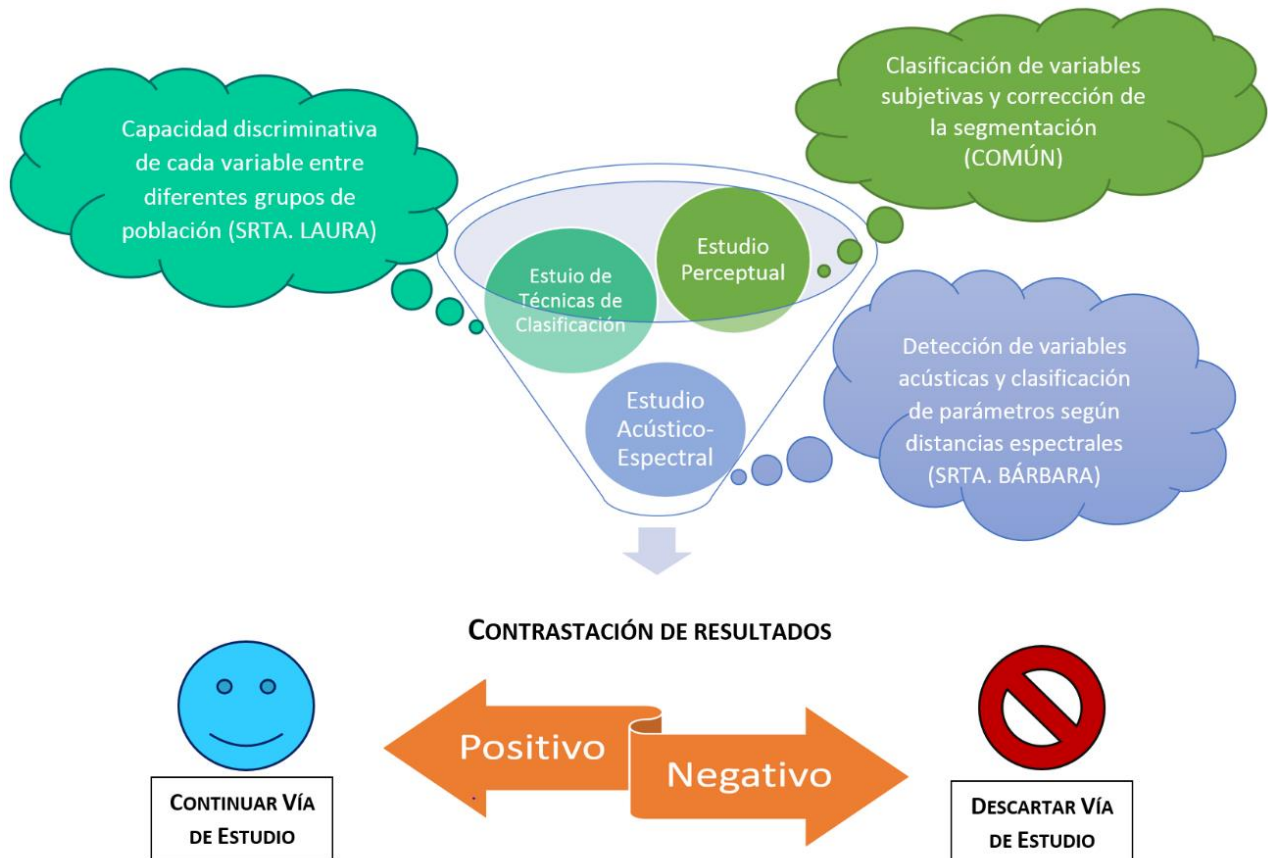


Figura 1: Esquema general de la evolución del proyecto

Los resultados serán óptimos cuando una variable tenga una capacidad discriminativa elevada, sea reconocible acústicamente y pueda clasificarse correctamente dentro del rango de IAH. En este caso, podría concluirse que el rasgo característico de dicha variable, es un parámetro válido para determinar si una persona padece o no la enfermedad.

Debemos destacar el hecho de que el estudio es para encontrar una técnica capaz de establecer rasgos lo suficientemente discriminativos del SAS. Lo que significa que los resultados obtenidos pueden ser tanto positivos como negativos. En el segundo caso, será necesario continuar investigando por un nuevo camino distinto al presente en este documento.

EL SÍNDROME DE APNEAS-HIPOAPNEAS DEL SUEÑO

A continuación vamos a describir con más detalle el concepto de SAS, los síntomas clínicos más habituales y sus consecuencias, así como la escasez de métodos que determinan si un paciente la sufre. De esto último, nace la necesidad de investigar y desarrollar nuevas técnicas que faciliten su detección.

DEFINICIÓN

El Síndrome de Apneas e Hipopneas durante el Sueño (SAHS) o como más se reconoce 'Síndrome de Apnea del Sueño' (SAS), es una enfermedad que afecta alrededor del 4% de la población adulta, la gran mayoría varones (3). Su principal síntoma es la somnolencia diurna que sufre el paciente, sumándose a esto alteraciones del ánimo y deterioro cognitivo, lo que produce un deterioro progresivo en su calidad vida. Además, a este trastorno se asocia un alto porcentaje de posibles problemas cardiorrespiratorios, como por ejemplo hipertensión arterial, morbimortalidad cardiovascular, etc. Aun con todo lo anterior, las consecuencias más comunes suelen ser accidentes laborales y de tránsito.

El SAS, descrito inicialmente por Guilleminault en 1976 (4), se caracteriza por episodios recurrentes de colapso parcial o total de la vía aérea superior durante el sueño, como consecuencia de los cuales se produce un aumento del esfuerzo tóraco-abdominal y una caída de saturación arterial de oxígeno. Estos dos factores conducen a una reacción de micro despertares para tratar de reanuda la respiración. Por convención, las apneas se definen como el cese del flujo aéreo durante más de 10 segundos. Se denomina hipopnea a una disminución entre el 10 y 50 % del flujo aéreo en relación a una reacción de micro despertares o caída de la saturación de oxígeno. El tipo de apnea que vamos a tratar en este proyecto es la apnea obstructiva definida como el cese del flujo producto de oclusión de la vía aérea, lo que determina persistencia del esfuerzo ventilatorio.

El diagnóstico de la Apnea del Sueño se puede deducir por un conjunto de factores entre los que se encuentran el ronquido intenso, somnolencia diurna excesiva y apneas presenciadas. La confirmación definitiva se realiza hoy en día a través de un estudio de Polisomnografía o Poligrafía respiratoria durante el sueño. Su tratamiento de elección es la ventilación con presión positiva continua de la vía aérea a través de una máscara nasal, capaz de mejorar los síntomas diurnos, nocturnos y disminuir el riesgo cardiovascular.

PREVALENCIA

Los estudios epidemiológicos han demostrado la aparición de la Apnea del Sueño en la población media adulta y un incremento de esto a medida que se avanza en edad, con mayor número de casos en varones. Estos estudios han determinado que la población adulta que presenta apnea es de entorno al 15 – 20 %.

El síndrome de apnea del sueño consiste en la presencia de una serie de síntomas, principalmente somnolencia diurna excesiva, asociada a un índice de eventos respiratorios elevado, que convencionalmente se ha estimado en 5 a 10 eventos por hora. Como síntomas habituales se encuentran el ronquido, alta somnolencia diurna y apneas presenciadas. Una presencia en un índice elevado de forma aislada, es decir, sin padecer síntomas, no corresponde a SAS. La prevalencia de SAS en nuestro país es de 2-4 % en hombres y 1-2 % en mujeres. Estas cifras se acercan mucho a las extranjeras que son del 7% en hombres y 4% mujeres (3).

FISIOPATOLOGÍA

La patogenia depende de muchos factores y es compleja. Durante el sueño, mientras el paciente inspira se produce el colapso de la vía aérea superior, dicho colapso lo produce la generación de una presión crítica durante la inspiración, que sobrepasa la capacidad de los músculos dilatadores y abductores de mantener la estabilidad de la vía aérea.

El inicio del sueño se acompaña con una disminución del tono de los músculos dilatadores, lo que produce un desequilibrio entre la fuerza que generan éstos y el peso que debe soportar la faringe, produciendo finalmente un colapso de las vías respiratorias. Por diferentes razones, como el aumento de la presión parcial de CO₂, se produce una reacción de despertar, que aumenta la tonicidad muscular, abre la vía aérea respiratoria y se reanuda la ventilación. Todo esto, conduce al ronquido de los pacientes durante el sueño. El ronquido no es un síntoma determinante del SAS pero acompañado de otros factores, como el tamaño de la faringe y mandíbula y los mencionados anteriormente, sí que se considera como una patología de esta enfermedad.

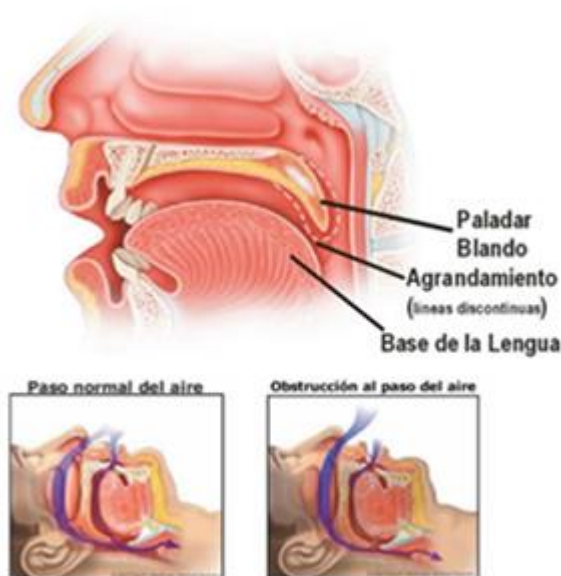


Figura 2: Paladar obstruido y no obstruido

CARACTERÍSTICAS CLÍNICAS

El SAS puede aparecer a cualquier edad, aunque el grupo con más riesgo es el comprendido entre los 30 a 60 años. Existe también una gran diferencia entre el número de casos en hombres frente a las mujeres, predominando los hombres. La mayoría de los sujetos sufren obesidad pero esto no implica que no existan excepciones, ya que también se da el SAS en pacientes no obesos.

El ronquido habitual, intenso e interrumpido por los eventos de apnea es una de las características clínicas más presentes. Otro síntoma es la somnolencia diurna excesiva, definida como dificultad para mantenerse despierto durante el día, por lo menos tres días a la semana. Dicha somnolencia puede ser peligrosa en varias acciones durante el día, ya que puede producir accidentes laborales y de tráfico, perjudicando no solo al paciente sino a las personas de su entorno. Debemos recordar que la somnolencia referida es una somnolencia “pasiva”, que se presenta durante situaciones monótonas, poco atractivas o que requieren menor atención, pues los pacientes pueden desenvolverse de buena forma en situaciones de alto desempeño, exigencia y responsabilidad.

Uno de los mayores problemas a la hora de detectar la enfermedad es que el paciente no es capaz de percibir sus propias apneas, aunque en ocasiones el paciente puede darse cuenta de sus problemas respiratorios durante el sueño.

En la siguiente tabla podemos ver los síntomas más habituales del SAS. (5)

CARACTERÍSTICAS CLÍNICAS DEL SAS
Somnolencia diurna
Sueño no reparador
Boca seca
Cefalea matinal
Disminución de la capacidad de concentración
Déficit de memoria
Trastorno del ánimo
Irritabilidad
Depresión
Impotencia
Inquietud psicomotora nocturna
Insomnio
Fatiga
Reflujo gastro-esofágico

Tabla 1: Características clínicas del SAS

FACTORES PREDICTORES DE SAS

La somnolencia diurna excesiva es el síntoma principal del SAS y constituye uno de los pilares para decidir el inicio del tratamiento. El ronquido también es de gran importancia especialmente si es frecuente, intenso e irregular. Pero, sin ninguna duda, el síntoma con mayor valor diagnóstico son las apneas presenciadas.

Por otro lado, existen algunos factores predictores de SAS obtenidos del examen físico. Uno de los de mayor peso para la predicción de la enfermedad es la circunferencia cervical (> 43 cm en hombre y 40 en mujeres). Se han ideado complejos algoritmos con el fin de aumentar la probabilidad de diagnóstico. El más conocido es el diseñado por Flemons (6), con la idea de evaluar la utilidad de los monitores portátiles en el diagnóstico de la apnea del sueño en adultos.

Los puntos predictores esenciales de SAS en una evaluación física los podemos ver en la siguiente tabla. (5)

PUNTOS ESENCIALES A EVALUAR EN EXAMEN FÍSICO DE UN PACIENTE CON SOSPECHA DE APNEA
Peso corporal, cálculo de IMC y su evolución en el tiempo Alrededor del 50% de los SAHOS son obesos.
Medición del perímetro cervical: en los pacientes con apnea obstructiva a menudo es mayor de 43 cm.
Inspección de cuello y cráneo buscando masas, engrosamientos, infiltrados, micro o retrognatía, y evaluación de la mordida y oclusión.
Evaluar la permeabilidad nasal.
En la boca, inspección del tamaño, movilidad y desplazamiento de la lengua.
Evaluar dentición y ausencia de dientes.
Evaluar el espacio faríngeo: tamaño tonsilar, aspecto de la úvula y paladar blando.
Medir presión arterial repetidamente.
Efectuar examen respiratorio, cardiovascular y neurológico habitual para descartar enfermedad coexistente.

Tabla 2: Puntos físicos esenciales a evaluar

CONSECUENCIAS CLÍNICAS

Existen numerosos riesgos posibles relacionados con la ausencia de tratamiento del SAS. Se ha demostrado clínicamente que existe una conexión entre el SAS y enfermedades como la hipertensión arterial, ataques al corazón, accidentes cerebrovasculares, obesidad, diabetes tipo II, etc., y con accidentes laborales y con vehículos motorizados relacionados con la fatiga. A continuación se describe los rasgos que relacionan el SAS con las enfermedades nombradas. (5)

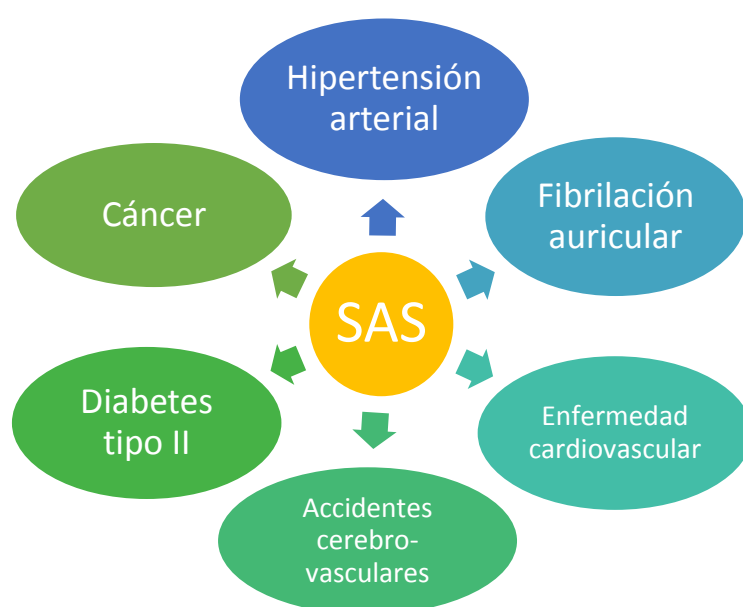


Figura 3: Consecuencias clínicas

Hipertensión arterial

El hecho de padecer SAS puede incrementar el riesgo de sufrir hipertensión, un factor de riesgo cardiovascular. El tratamiento del SAS puede reducir la presión arterial y el riesgo de accidentes cerebrovasculares.

Fibrilación auricular

El SAS puede favorecer la presencia de ritmos cardíacos anormales como la fibrilación auricular. Además, los pacientes con fibrilación auricular y SAS no tratado, son más propensos a presentar una recurrencia a la fibrilación tras un tratamiento exitoso para esta afección cardíaca, en comparación con pacientes sin SAS o que si lo tengan pero estén debidamente tratados.

Enfermedad cardiovascular

El SAS provoca tensión en el corazón, hecho que puede dar lugar a la aparición de enfermedades cardiovasculares graves, como insuficiencia cardíaca e incluso infarto de miocardio.

Accidentes cerebrovasculares:

Los datos sugieren que el SAS es un factor de riesgo significativo para los accidentes cerebrovasculares (ACV) y que su presencia puede dificultar la recuperación después de un accidente cerebrovascular.

Diabetes tipo II

Las personas que sufren Apnea del Sueño corren mayor riesgo de presentar resistencia a la insulina, lo que puede ocasionar diabetes tipo II. En estudios clínicos se ha demostrado que las personas que sufren diabetes tipo II suelen presentar apnea del sueño.

Cáncer

Lo más novedoso de en los estudios realizados sobre la Apnea del Sueño, es que apuntan a la vinculación entre la apnea del sueño y el cáncer. El Grupo Español de Sueño (GES) de SEPAR ha llevado a cabo diferentes estudios que constatan dicha relación.

"A través de los resultados obtenidos en nuestros estudios se observa que padecer una apnea del sueño grave podría estar relacionado con una mayor probabilidad de tener un cáncer de cualquier tipo o de que si ya se padece uno se extienda con mayor rapidez", explicó el doctor Francisco Campos Rodríguez, neumólogo y miembro de SEPAR (7).

El estudio más reciente del GES, publicado en la revista de la American Thoracic Society, concluyó que de los 4.910 pacientes incluidos, 261 (5,3%) habían desarrollado un cáncer durante el seguimiento. Asimismo, los resultados demostraron que el marcador de gravedad de **apnea del sueño** más relacionado con el cáncer **es la hipoxia nocturna**.

DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO

Diagnóstico

El SAS se diagnostica y se trata en las unidades de sueño, centros médicos, donde se realizan una historia clínica dirigida a los trastornos del sueño y una exploración de la vía respiratoria superior. Es esencial hacer un diagnóstico muy detallado y adecuado al paciente, ya que existen más de 80 trastornos del sueño, muchos de los cuales con el síntoma de somnolencia diurna, por lo que es muy fácil confundir el SAS con otras enfermedades con la misma línea inicial de síntomas.

La prueba clave para diagnosticar el SAS es la Polisomnografía. Se trata del registro de una serie de variables neurofisiológicas, respiratorias y cardíacas que nos permiten conocer la cantidad y la calidad del sueño, así como la repercusión de las apneas e hipopneas en el sueño. La realización de estudios simplificados que evalúan las variables respiratorias y cardíacas se denomina poligrafía respiratoria (PR) y constituye una alternativa a la PSG en muchos pacientes. Ambas pruebas son complementarias y pueden realizarse tanto en el hospital como en el domicilio de los pacientes, siendo en el hospital la forma más sencilla de realizar la prueba debido a la necesidad de instrumentación médica.

Finalmente, la presencia de una serie de síntomas relacionados con la enfermedad junto con un número anormal de apneas e/o hipopneas determina el diagnóstico del SAS.

Tratamiento:

Como tratamiento contra el SAS podemos hacer dos bifurcaciones, una sobre el tratamiento médico que se realiza en los pacientes y la segunda sobre las medidas que debe y tiene que llevar a cabo la propia persona como medidas preventivas y reductoras del nivel de la enfermedad.

Siguiendo con la primera medida, el tratamiento más importante y efectivo es la Aplicación de Presión Continua Positiva por la vía nasal (CPAP) durante el sueño. Dicha presión se aplica mediante una mascarilla nasal unida a una turbina que emite aire a una presión determinada, ajustada al paciente, que impide las obstrucciones del VAS, mejorando notablemente la respiración y anulando en gran medida los episodios de apnea. Este tratamiento se aplica a pacientes con un nivel de SAS moderado – grave, siempre y cuando sean capaces de aguantarlo. Como caso puntual, se puede recurrir a la cirugía del área ORL y/o maxilofacial, principalmente en aquellos pacientes que no toleren el CPAP.



Figura 4: Aplicación de Presión Continua Positiva por la vía nasal (CPAP)

Otro procedimiento médico para la mejora del síntoma de la apnea son los Dispositivos de Avance Mandibular (DAM) que aumentan el espacio en la VAS. Este tratamiento está orientado a paciente con un nivel de apnea leve – moderado o como otra alternativa más a aquellos que rechacen el CPAP. Con este procedimiento, se produce una mejoría lenta y progresiva en el tiempo.

Haciendo referencia a la segunda medida de tratamiento y la primera que se tiene que adquirir en cuanto se diagnostica la enfermedad, es reconducir las costumbres del día a día, para reducir los factores de riesgo más frecuentes como: la obesidad, el alcohol, los fármacos sedantes, la privación del sueño y el tabaco, así como evitar dormir boca arriba.

Situación actual en España

El SAS es un problema de salud pública en España que afecta a unos 2 millones de personas, produciendo un deterior en la calidad de vida y está relacionado con enfermedades cardiovasculares, cerebrovasculares y accidentes laborales o de circulación. En los últimos años se ha tratado de aumentar el número de unidades de sueño españolas, concretamente triplicándolas, pero a día de hoy este número todavía es insuficiente. Esto provoca largas listas de espera que pueden llegar hasta 1 año o más de espera y a un gran número de pacientes sin diagnosticar. Además, las máquinas de CPAP son escasas y de alto coste monetario, lo que hace muy difícil su distribución, a todos los pacientes que la necesitan. Tanto las personas diagnosticadas como las que no, ocasionan un fuerte impacto económico en la salud pública. (8)

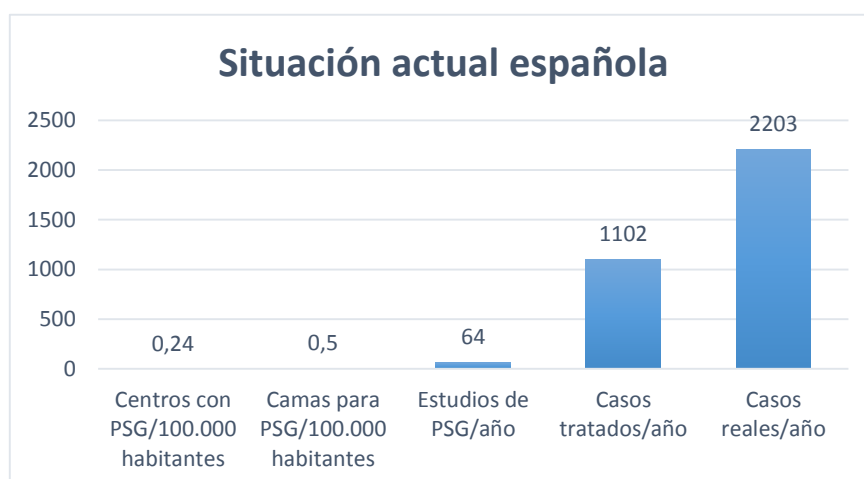


Figura 5: Situación del SAS en España

Podemos ver el marco actual del SAS en España:

Se puede apreciar claramente como el número de casos tratados en España es muy inferior al 30% de los casos existentes. En este sentido, SEPAR promueve la Acreditación de Unidades de Sueño cuyo objetivo fundamental es asegurar y mejorar el diagnóstico y cuidado de los pacientes. "Las acreditaciones en tres niveles, buscan garantizar la calidad asistencial pero también impulsar la investigación en trastornos del sueño y la docencia en Medicina de Sueño, no únicamente en el ámbito de la patología respiratoria", explica la doctora Pilar de Lucas, presidente de esta Sociedad científica. (9).

Para el SEPAR (1), es necesario incrementar las pruebas y exámenes que permiten identificar esta alteración del sueño para prevenir las patologías que se le asocian. Queda un largo camino para alcanzar una situación óptima. Y es ese camino el que se pretende atajar con los estudios realizados en el presente proyecto. (8).

	Centros con PSG / 100.000 habitantes	Camas para PSG / 100.000 habitantes	Estudios de PSG anuales / 100.000 habitantes	Retrasos en meses
EE UU	0,46		427	2 a 10
Canadá	0,32	1,4	370	4 a 36
Reino Unido	0,14	0,3	42	7 a 60
Bélgica	0,5	1,5	177	2
Australia	0,34	1,3	288	3 a 16

Tabla 3: Comparación de España con otros países desarrollados en relación a la PSG

CONTEXTO

Como ya se ha dicho anteriormente, la necesidad de encontrar nuevas técnicas de diagnóstico, de menor tiempo y coste que las ya existentes es cada vez mayor. Gracias a los avances en la ingeniería biomédica, cada vez es más sencillo encontrar soluciones a los diferentes problemas que siguen sin respuesta. La evolución en tecnologías del habla, en concreto, el desarrollo de técnicas de identificación biométrica, ha permitido proponer nuevas vías para el diagnóstico de enfermedades de la voz como la Dislalia, la Disartria o en nuestro caso, el Síndrome de Apneas-Hipopneas durante el Sueño.

Las investigaciones realizadas por A. W. Fox, P. K. Monoson y C. D. Morgan (10) (11) son los antecedentes de nuestro estudio. Dichas investigaciones se basan en técnicas de Estratificación sobre una población reducida de hombres, para encontrar descriptores capaces de distinguir, dentro de dicho grupo, los afectados con SAS de la gente sana, siendo este el principal objetivo del estudio realizado.

Del estudio de las características anatómicas del VAS, surge una nueva posibilidad de diagnóstico basada en el análisis de voz (12). Mediante el desarrollo de sistemas basados en modelos de detección a través de los parámetros de la voz, se podrían sustituir los estudios de imágenes médicas para la caracterización del tracto vocal, y determinar en qué medida sería posible basar una nueva herramienta de apoyo al diagnóstico del SAS, en la información extraída del habla.

Desde 2005 el Grupo de Aplicaciones de Procesado de Señales (GAPS), en colaboración con algunos de los Hospitales Quirón de España, trabaja en la adaptación de técnicas de reconocimiento del habla con el objetivo de reducir los costes y tiempos empleados en el diagnóstico del SAS. Los primeros resultados de la investigación fueron positivos, por lo que la esperanza por llegar a una conclusión positiva existe. Con los años, se han ido descubriendo que el estudio de poblaciones mayores en escenarios de práctica clínica presenta una mayor dificultad por las diferentes fuentes de variabilidad que afectan al habla de las personas. Es esto lo que hace replantearse los trabajos iniciales de A. W. Fox, P. K. Monoson y C. D. Morgan y el estudio acústico de Robb, ahora con una mayor disposición de datos que los que se tenían cuando se realizaron aquellos estudios. Esto se puede resumir como el contexto y objetivo principal de este trabajo.

Nuestro objetivo se reduce a revisar si las diferencias perceptuales de los trabajos que fueron realizados por los autores ya citados, se pueden observar sobre los datos que hemos obtenido.

OBJETIVOS

Como ya se ha mencionado anteriormente, se trata de un proyecto de investigación conjunto, en el que trabajando con distintas parametrizaciones de la voz, se pretende determinar qué modelo de procesamiento es capaz de encontrar un estándar de voz patológico, que caracterice a los pacientes con SAS. Con ello, se comprueba la viabilidad de una serie de técnicas de clasificación de parámetros para el diagnóstico del SAS.

Las técnicas de análisis, contrastes, clasificadores forman el conjunto de herramientas perceptuales que se han utilizado para ver si tanto los marcadores perceptuales como las medidas acústicas son discriminativas o no.

De este modo, los objetivos estructurados según la metodología de trabajo son:

1. El primero, se basa en un **estudio orientado al análisis perceptual** de las grabaciones de voz disponibles. Para ello, basado en un largo proceso de escucha de las grabaciones de una base de datos de pacientes con SAS, se ha definido un conjunto posibles variables que sean capaces de discriminar este tipo de trastorno. Pueden ser variables de diferentes tipos, como por ejemplo, la nasalidad de una palabra individual o de un conjunto de palabras, respiración forzada al inicio y final de las frases, etc. También se realiza una corrección de la segmentación de estas grabaciones, de modo que pueden optimizar los resultados en futuras pruebas.
2. **Estudiar la capacidad discriminativa de las variables o descriptores perceptuales** identificados. Se trata de analizar la capacidad que puedan tener estas variables, previamente extraídas, para determinar si una persona padece SAS o no, y estimar el grado IAH dentro de varios grupo de población. Para ello hemos realizado un contraste de hipótesis porcentuales y hemos probado técnicas de clasificación para varios grupos de población con diferentes grados de IAH. Esta parte del estudio corresponde al TFG realizado por Laura Soria Simón.
3. Realizar un **estudio acústico** con dos objetivos:
 - a) **Determinar la capacidad acústica discriminativa de las variables** obtenidas en el estudio perceptual. Por medio del cálculo de distancias espectrales y su comparación con un algoritmo de K-NN con DTW.
 - b) **Estudiar si las características acústicas de las unidades lingüísticas** donde se identificaron diferencias perceptuales pueden utilizarse **para diferenciar entre personas con diferentes grados de IAH.**

Finalmente, combinando los resultados obtenidos en los diferentes estudios, tendremos una serie de resultados positivos o negativos, que seguirían las siguientes líneas de posibilidades (deben tenerse en cuenta la numeración de los objetivos):

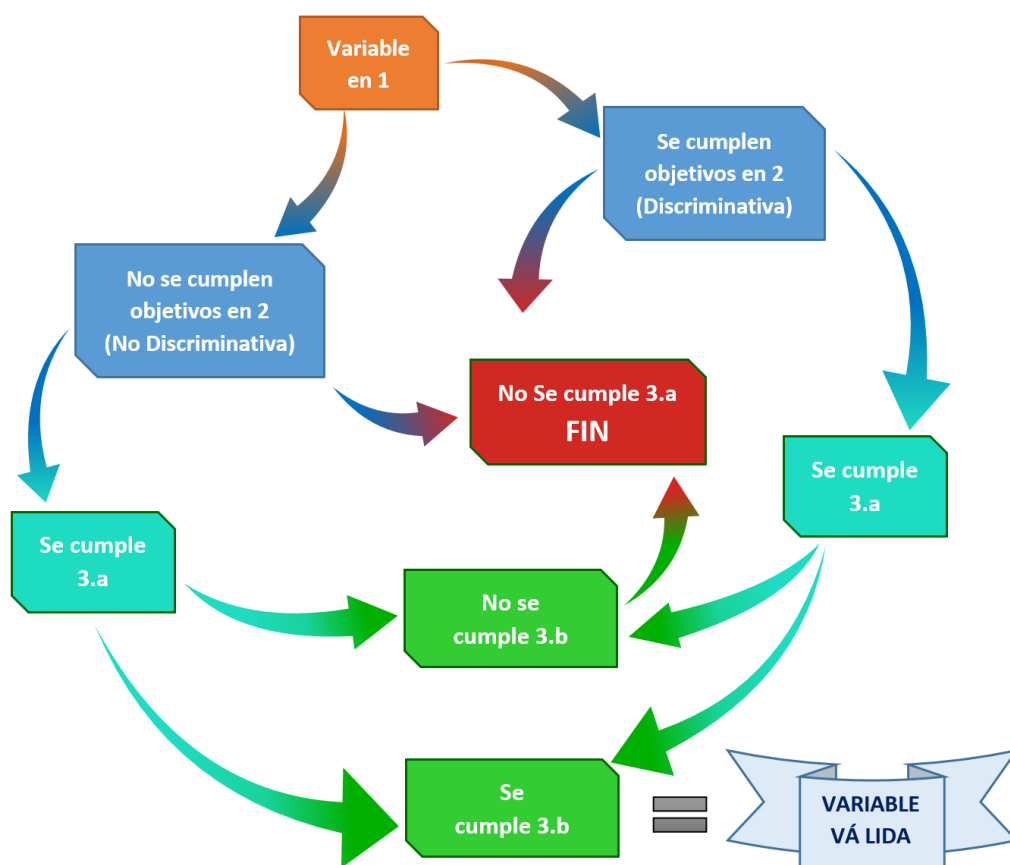


Figura 6: Desarrollo de objetivos

Con los datos obtenidos podremos verificar si con estos estudios, se siguen encontrando las mismas diferencias entre la población sana y la que padece el SAS, que en los estudios anteriores realizados por Robb, Fox y Monoson. En el primer estudio se han identificado una serie de marcadores perceptuales o variables. A partir de estas, se intenta demostrar si son capaces de distinguir entre gente con SAS o sana, en el segundo estudio. Y por último en el tercero, se analiza primero si se pueden reconocer acústicamente (3.a) y después, ver si estas diferencias se manifiestan en la clasificación según el IAH (3.b).

De este modo, si se cumplen los objetivos de 2, 3.a y 3.b para una variable de 1, se considerará un parámetro discriminativo perceptual y acústico, válido como rasgo patológico de la voz afectada por el SAS. Por otro lado, si no es capaz de discriminar (2) pero si se reconoce acústicamente (3.a) no se consideraría un parámetro válido aunque sí que se tendría en cuenta ya que al poder reconocerse acústicamente, está indicando que tiene rasgos anormales. Finalmente, existe el caso en que no sea discriminativo ni perceptual, ni acústicamente, por lo que sería una variable con información insuficiente y debe eliminarse del estudio preliminar.

BASE DE DATOS Y HERRAMIENTAS

BASE DE DATOS

La información utilizada en este proyecto ha sido proporcionada por el Hospital Quirón de Málaga. La base de datos utilizada contiene una serie de parámetros clínicos, un conjunto de grabaciones de voz y datos correspondientes al rostro y cuello de cada paciente.

La recopilación de la información facilitada pertenece tanto a pacientes enfermos como sanos, aunque predominan en gran mayoría los sujetos afectados.

Dentro de la información dispuesta, por un lado tenemos un conjunto de variables clínicas necesarias para el diagnóstico del SAS. Dichas variables son:

1. Género (Hombre – 0, Mujeres – 1)
2. IAH
3. Peso
4. Talla
5. Edad
6. Perímetro Cervical
7. Epworth Sleepiness Scale (ESS)
8. Campo Control (Excluir locutor – 1, No excluir locutor – 0)
9. Fumador
10. Roncador

El Epworth Sleepiness Scale (ESS) es una medida de la somnolencia diurna cuyo valor se obtiene mediante la realización de un cuestionario. Este campo aparece incompleto en muchos de los elementos de la base de datos, por lo que en el desarrollo de este proyecto se ha prescindido de este valor.

Estas variables se especifican en cada paciente, de un total de 300 pacientes, de los cuales hemos estudiado únicamente a la población masculina con la información pertinente completa, es decir a 193 pacientes. El hecho de no analizar a las mujeres se debe a las diferencias existentes en el SAS, de modo que el porcentaje de mujeres con esta enfermedad es mucho menor que en los hombres y a la hora de buscar un tipo de voz patológica, es necesario un gran número de pacientes. Por tanto, todos aquellos pacientes marcados con un 1 o 2 en el género, serán descartados.

Los estudios realizados se basan en el valor del Índice de Apneas-Hipopneas (IAH), obtenido mediante una prueba de Polisomnografía (PSG) previa al registro en la base de datos. Se ha dividido el IAH en tres distribuciones y, a su vez, en 4 grupos que podemos ver en la siguiente tabla.

DISTRIBUCIONES		GRUPOS		
IAH < 10%	SANOS	G1	63 pacientes	IAH < 10%
10% ≤ IAH ≤ 30%	LEVES - MODERADOS	G2	130 pacientes	IAH ≥ 10%
		G3	135 pacientes	IAH < 30%
IAH ≥ 30%	GRAVES	G4	58 pacientes	IAH ≥ 30%

Tabla 4: Distribución y grupos según IAH

Se han dividido los pacientes en diferentes grupos de población según el nivel de Apnea, siendo aquellos que tengan un IAH menor del 10% los que están sanos, un nivel de apnea leve o moderado los que estén por encima de ese 10% y, además, por debajo de un 30%. La última clasificación forman los pacientes graves con un índice de apnea igual o mayor del 30%.

A su vez, las técnicas de clasificación con las variables obtenidas de las grabaciones de voz las hemos realizado dividiendo el IAH en 4 grupos (G1 – G4) con los límites establecidos que vemos en la tabla 3.

Complementando este conjunto de rasgos, disponemos de 4 frases por sujeto, de habla continua y las etiquetas de cada letra, para un análisis espectral de frase.

HERRAMIENTAS

En los análisis perceptual y acústico, es necesario procesar la señal de voz para adecuarla a la plataforma de trabajo. Para la realización de este proyecto hemos utilizado una serie de herramientas para el acondicionamiento y procesamiento de la señal de voz, entre las que se encuentran los programas Matlab y Wavesurfer con los que hemos obtenido información relevante de las señales de voz y su espectro en frecuencia. A partir de estos datos, hemos realizado un estudio perceptual en el que se han obtenido una serie de variables. Este proceso consiste en la escucha y valoración subjetiva de grupos reducidos de pacientes, marcando posibles marcadores de la presencia de SAS. Es necesario realizarlo en pequeños grupos, ya que un número elevado de audios puede llegar a saturar al oyente y confundir así su juicio a la hora de valorar posibles marcadores.

Las señales de voz sobre las que trabajamos en el análisis perceptual y acústico se obtienen de un conjunto frases predefinidas para destacar aspectos relevantes en la producción del habla, que puedan enmarcar las características anatómicas que caracterizan a los pacientes con SAS.

Para llevar a cabo los análisis, es necesario conocer la ubicación de los fragmentos de interés dentro de la frase. Se ha utilizado el software HTK, que aplica una segmentación mediante reconocimiento forzado de las distintas unidades que constituyen la frase. Además, para poder establecer la comparación entre las señales, es necesario normalizar la duración y la energía de los segmentos lingüísticos utilizados y así evitar que las variaciones presentes entre los pacientes, afecten a los resultados obtenidos.

DESARROLLO DEL PROYECTO

ANÁLISIS PERCEPTUAL

A continuación, describimos la primera parte del proyecto que es conjunta. De la base de datos proporcionada por el Hospital Quirón, hemos usado los 300 primeros pacientes de los cuales, eliminando las mujeres y los erróneos por falta de información necesaria, se han reducido a un total de 193. Hemos analizado perceptualmente cuatro audios por paciente. Cada audio corresponde a una frase formulada especialmente para destacar los posibles rasgos de la voz afectada por el SAS. Este análisis consiste en ir escuchando cada audio repetidas veces, e ir haciendo una descripción detallada de la frase completa. A la vez, hemos ido marcando, subjetivamente, variables para analizar en los estudios posteriores y ver si son posibles descriptores perceptuales. Hemos marcado un total de 16. A estas variables añadimos también las características físicas de los pacientes y su IAH.

En primer lugar, el proceso de escucha ha consistido en una dividir los pacientes en pequeños grupos para ir escuchando semanalmente. Esto se debe a que es fácil saturar el oído humano y si esto ocurre, realizar un estudio perceptual no sería posible. El método de escucha tiene dos partes, el primero en el que se escucha cada frase y se analiza con detenimiento para captar posibles rasgos característicos de pacientes con apnea del sueño, o rasgos que una persona sana y sin acentos étnicos tendría. En segundo lugar, se hemos realizado una revisión de la segmentación fonética, de la que hablaremos más adelante.

En estudios anteriores similares a este realizados por Fox y Monoson, se obtuvieron resultados positivos (10). La diferencia con el estudio que aquí se describe, es que en esos estudios se buscaron rasgos nasales, de fonación (voces roncadas) y articulación, mientras que aquí sólo ha sido posible identificar características nasales. Esto se debe a que Fox y Monoson comparaban pacientes roncadores con un grupo de control de pacientes totalmente sano y en este estudio, la gran mayoría son roncadores y no hay pacientes clasificados como sanos, sino como sospechosos de padecer SAS, lo que impide compararlos con un grupo de control no roncador. Del mismo modo, ha sido prácticamente imposible identificar rasgos de articulación, ya que el aproximadamente el 90% de los pacientes son andaluces y algunos rasgos se confunden con su típico acento.

Además, debido al origen andaluz, se ha tenido en cuenta aquellos que cecean y/o sesean ya que es posible confundir estos rasgos del habla con posibles características de la voz patológica del SAS.

Otra diferencia con respecto a Fox y Monoson, es que en este estudio, se ha marcado un nuevo rasgo que podría ser característico del SAS y son las respiraciones inicial y final. La respiración inicial consiste en la aspiración de una cantidad elevada y anormal de aire antes de comenzar a pronunciar una frase o sentencia. Esto se debe a que el sujeto no es capaz de aspirar aire a medida que recita la frase y se ve obligado a inhalar una gran cantidad inicial. La respiración final, suele ser una consecuencia de lo anterior, consiste en un breve resoplido al terminar la frase dando la sensación de cansancio o de quedarse sin aire, por haber tenido que alargar durante la frase entera la primera bocanada de aire.

En cuanto a los rasgos nasales, son los principales marcadores de este estudio. Las palabras o variables marcadas, corresponden a una pronunciación nasal excesiva del paciente en concreto. La nasalización de un sonido se produce cuando el velo del paladar está caído y el flujo de aire sale por la cavidad nasal, lo que es un síntoma del SAS. Las frases elegidas para el estudio, son un conjunto de sonidos pensados específicamente para remarcar este aspecto de nasalización ya que la nasalización es una consecuencia que aparece en el 90% de los pacientes con SAS. Todas las variables marcadas como nasales son aquellas en las que se produce una nasalización clara por parte del paciente como en el caso de “manga”, en el que no son capaces de pronunciar correctamente el conjunto -ang-, o el caso “juan_no”, en el que muchos no son capaces de diferenciar las dos palabras y la pronuncian como una sola o por el contrario, necesitan demasiado tiempo para pronunciarlas correctamente. Estos son solo ejemplos de dos tipos de variables marcadas. Además de buscar rasgos nasales en palabras individuales o pequeños grupos, se han marcado aquellos casos en los que la frase completa muestra una clara nasalidad.

Como medida adicional, se realizó un juicio subjetivo sobre el nivel de apnea de cada paciente, dividiéndolos en 6 grupos para comprobar si a final del análisis, coincide con su valor real. Sorprendentemente, se obtuvo un alto porcentaje de acierto. Esta división es totalmente subjetiva ya que el análisis de los audios era ciego, es decir, sin conocer el IAH real de los pacientes, para no condicionar las decisiones e impresiones sobre cada paciente. Por tanto, estos niveles son perceptuales y no tienen por qué corresponderse con el nivel real de los sujetos de estudio.

De las variables marcadas como nasales, se podrían distinguir a grandes rasgos 6 grupos:

Hungría Manga	Francia Hicieron	Miguel y Manu Nueve y media
Que tanto le gusta Que ellos buscan	Causa común Almacén Llamarán	En ningún Julián no Juan no

En todas ellas destaca la presencia de la “n” al final o inicio de una sílaba, lo que dificulta la pronunciación para gente con problemas respiratorios ya que no son capaces de pronunciarla correctamente y el resultado es una vocal nasalizada. No pronuncian la vocal como a-n /an/, u-n /un/ y o-n /on/, en dos sonidos, sino que se funden en uno solo, en una *vocal nasalizada*. La “r” también es determinante a la hora de pronunciar correctamente cada palabra ya que la transición que hace la lengua es más complicada y no son capaces de dejar libre el paso de aire por las vías nasales. De este modo, y también por la posición que requieren “m” y la “g”, en el momento en el que se unen un “n” o una “r” con las dos anteriores además de una vocal, resulta complicado realizar la pronunciación correcta cuando el velo del paladar está caído e impide el movimiento y el aire necesarios.

Donde cada uno de los grupos anteriores, hay un sonido más alarmante por su nasalidad que es la pronunciación de sonidos modificados por la vibración del aire en la cavidad nasal. Estos han sido los que forman los siguientes grupos de letras, que no tienen por qué ser una sílaba, sino una mezcla entre dos o tres:

1. **“ng”, [HUNGRIA, MANGA]**, la transición necesaria para este sonido en el que la lengua pasa de ocupar la parte alta del paladar a una posición más retraída, produce nasalización en pacientes con SAS.
2. **“us”, [que tango le GUSTA, que ellos BUSCAN]**, precedido por un sonido suave y seguido por otro más fuerte. En este caso, no son capaces de marcar la transición al sonido fuerte, fundiéndolo con el sonido anterior.
3. **“Fran”, “ron”, [FRANCIA, HICIERON]**, como ya se ha comentado anteriormente, la “r” es muy característica a la hora de pronunciar y cuando un paciente tiende a nasalizar, no es capaz de pronunciarla correctamente.
4. **“...n”, [CAUSA COMÚN, ALMACÉN, LLAMARÁN]**, al final de una palabra aguda. Hemos notado como la mayoría de los pacientes tienden a añadir una “g” detrás de esta última letra y es porque no pueden realizar un sonido redondo sobre la n cuando nasalizan.
5. **“e...y...m”, [MIGUEL Y MANU, NUEVE Y MEDIA]**, en el análisis hemos notado como algunos pacientes tienen dificultades con esta transición ya que requiere una transición brusca y a muchos les resulta complicado contener el aire.
6. **“...n n...”, [EN NINGUN, JUAN NO, JULIAN NO]**, este caso tiene dos razones de ser, algunos de los pacientes no pueden marcar la diferencia entre ambas n’s cuando una cierra una palabra y la siguiente la empieza, de modo que las unen como si fuesen una sola. Mientras que otros, no pueden y necesitan realizar una pausa excesiva para pasar de una a otra. El sonido que resulta es muy nasal en el caso de la unión y la pausa podría ser una consecuencia de la dificultad para respirar y pronunciar, por lo que ambos casos han sido de gran interés en este estudio.

Todos estos datos se han recogido en una tabla para poder analizarlos en las dos vías de estudio siguientes. Además de todos los datos comentados anteriormente, se han añadido las variables de altura y peso, de las que obtenemos el IMC ($\text{IMC} = \text{Peso} / \text{Altura}^2$), que son importantes para ver la relación que existe entre la obesidad y el IAH.

Hemos ponderado, de forma subjetiva, el IAH en 6 niveles (0 – 5), como se puede a continuación. Por otro lado, las mujeres las hemos descartado, como ya explicamos anteriormente. Tienen asignado un ‘1’ y el resto de campos en blanco, para que el programa las discrimine.

NIVEL DE IAH	
IAH	LEVEL
0	0
1_5	1
5_15	2
15_25	3
25_40	4
40_100	5

Tabla 5: Niveles de IAH

GÉNERO DEL PACIENTE	
1	FEMENINO
0	MASCULINO

Tabla 6: Género del paciente

También existen dos campos: ‘sesea’ y ‘cecea’, que se han completado con ‘0’ en aquellos pacientes que no tienen esta característica, y con un ‘1’ los que sí la tienen. Hay un tercer valor en algunos de los pacientes estudiados donde hemos asignado un ‘2’, esto es porque el audio no estaba en buenas condiciones, el paciente no era capaz de pronunciar bien la frase o se equivocaban al leer algún conjunto de palabras.

En la siguiente tabla podemos ver a los 10 primeros pacientes con sus características respectivas como el IAH, el peso, la altura, la edad, seseo y ceceo:

GENERO	IAH	CLASS IAH	EDAD	ALTURA	PESO	IMC	SESEA	CECEA
0	71	5	39	168	82	29,05329	0	0
0	29,6	4	56	174	119	39,30506	0	0
0	56	5	46	-1	-1	-10000	1	0
0	19,7	3	39	168	78	27,63605	0	0
0	9	2	32	173	80	26,72993	2	2
0	2	1	32	190	109	30,19391	2	2
0	34	4	39	169	86	30,11099	0	0
0	60	5	47	172	145	49,01298	0	0
0	22	3	40	165	72	26,44628	1	1
0	11	2	28	180	80	24,69136	0	1

Tabla 7: Variables perceptuales de los pacientes

A continuación, se puede ver el de los 4 audios por separado y las variables perceptuales extraídas de cada uno, la nasalidad global de la frase y las respiraciones inicial y final explicadas antes. Los espacios en blanco corresponden a las mujeres y aquellos campos con un '2' a los erróneos. De este modo, no alteramos la numeración de los pacientes.

Primera frase: “Francia, Suiza y Hungría ya hicieron causa común”.

Dentro de las palabras o conjuntos de palabras que hemos detectado como posibles patrones de una voz patológica del SAS son:

- Francia y Hungría
- Hicieron
- Causa común

En este caso, la frase original es “Francia, Suiza y Hungría...”, sin embargo, dado que no se ha encontrado ninguna característica fuera de lo normal en Suiza, además del seseo, no se ha tenido en cuenta en el análisis. En la siguiente tabla podemos ver el análisis de la primera frase correspondiente a los primeros 20 pacientes.

1					
NASAL	RESPIRACIÓN (I/F)		(francia_y_)hungria	hicieron	(causa_)comun
0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1
0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1
2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2
0	0	0	1	0	1
0	0	0	1	1	1
0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	1
0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	1
0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0

Tabla 8: Descriptores perceptuales de la frase 1 en los 20 primeros pacientes

Segunda frase: “Julián no vio la manga roja que ellos buscan en ningún almacén”.

Las variables destacadas en este caso han sido:

- Julián no
- Manga
- Que ellos buscan
- En ningún
- Almacén

En esta frase, cabe destacar “manga”, ya que es la palabra de más interés con diferencia ya que los estudios realizados previos a éste han demostrado que con esta palabra se obtienen resultados positivos, pero esto se verá más adelante.

2							
NASAL	RESPIRACIÓN (I/F)		julian_no	manga	(que_ellos_)buscan	en_ningun	ALMACEN
0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1	1	0
0	1	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2	2	2
0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0	1	1
0	0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0	1	0
0	0	0	1	1	0	1	0
0	0	0	0	1	0	1	0

Tabla 9: Descriptores perceptuales de la frase 2 en los 20 primeros pacientes

Tercera frase: “Juan no puso la taza rota que tanto le gusta en el aljibe”.

Aunque no hemos obtenido un gran número de variables en esta frase, las que hay son bastante interesantes por la unión de dos “n” seguidas y por la progresión de la lengua al pronunciar dos “t” y una “g” acompañada de una “s”. El estudio realizado ha demostrado que a muchos de los pacientes les cuesta pronunciar correctamente estas dos variables:

- Juan no
- Que tanto le gusta

A continuación, se puede ver el estudio realizado sobre los 20 primeros pacientes:

3				
NASAL	RESPIRACIÓN (I/F)		juan_no	(que_tanto_)le_gusta
0	0	0	0	1
0	0	1	0	1
0	0	0	0	0
0	0	0	0	1
2	2	2	2	2
2	2	2	2	2
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	1
0	0	0	0	1
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
1	0	0	1	1
0	0	0	1	1
0	0	0	0	0

Tabla 10: Descriptores perceptuales de la frase 3 en los 20 primeros pacientes

Cuarta frase: “Miguel y Manu llamarán entre ocho y nueve y media”.

Las variables seleccionadas en esta frase han sido:

- Miguel y Manu
- Llamarán
- Nueve y media

La progresión de “mi-gue-l – y - ma” crea dos conflictos en algunos de los pacientes. El primero es que muchos necesitan hacer una pausa y el segundo es que la “m-i-g—l” es difícil de pronunciar cuando existen problemas de nasalización ya que se produce en gran parte con la lengua en lo alto del paladar. Aunque no es un factor que hayamos encontrado en muchos pacientes, en aquellos que sí, la nasalización y la pausa son muy notables. Ocurre algo parecido con “nueve y media”. Por último en el caso de “llamarán” se junta el hecho de ser una palabra aguda, con todo a’s lo que la hace más sencilla y rápida de pronunciar y una ‘n’ final que resulta nasal en un porcentaje alto de los pacientes.

4					
NASAL	RESPIRACIÓN (I/F)		miguel(_y_manu)	Llamaran	nueve_y_media
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0
2	2	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2
0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	1	0
0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	1	0

Tabla 11: Descriptores perceptuales de la frase 4 en los 20 primeros pacientes

REVISIÓN DE LA SEGMENTACIÓN FONÉTICA

Como complemento a esta parte del proyecto, hemos realizado una corrección manual sobre la parametrización de cada frase. El método empleado para adecuar la señal de voz al tipo de formato admitido por los sistemas de procesamiento que utilizamos en la fase de análisis, consiste en representar la señal de voz mediante una sucesión de parámetros acústicos aplicando técnicas de análisis espectral.

Debido a la complejidad de la voz humana y las características de cada individuo, es comprensible que algunas de las etiquetas que marcan el espectro correspondiente a cada letra, esté ligeramente desplazada. El problema aparece cuando una etiqueta se desplaza, y como consecuencia desplaza la frase completa, provocando así que a la hora de realizar un análisis acústico sobre el espectro de la voz, el fragmento no corresponda con el teórico.

Para comprobar que se ha realizado un tratamiento de la señal correcto, nos hemos fijado en los formantes de la voz. Podemos definirlos como las bandas de frecuencia donde se concentra la mayor cantidad de energía en la emisión de un determinado sonido. Estos parámetros suelen asociarse a los fenómenos de resonancia en las cavidades del tracto vocal y son: la frecuencia central, el ancho de banda y la energía.

Cada formante está formado por conjunto de armónicos de amplitud destacados, que conforman una banda de frecuencia determinada. Si utilizamos un espectrograma de banda ancha para representar una señal de voz en el dominio de la frecuencia, podemos identificar los formantes como las bandas horizontales más oscuras situadas en determinadas frecuencias. Estas bandas se numeran de abajo a arriba como se puede ver en la siguiente figura:

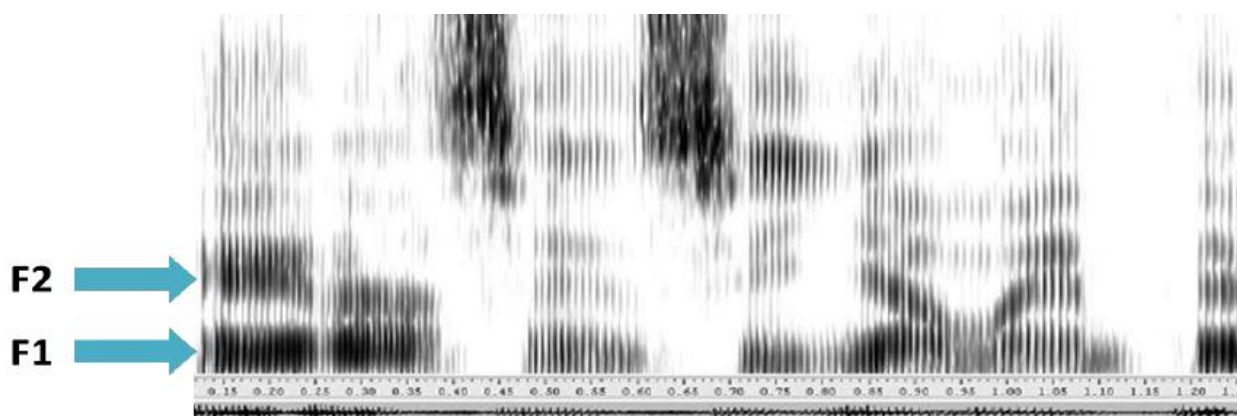


Figura 7: Primer y segundo formante en un espectrograma

La emisión de voz se consigue mediante una disposición determinada del tracto vocal, y para explicarlo nos vamos a centrar en las cinco vocales. Cada configuración actúa como un filtro acústico sobre la señal de excitación, lo que nos permite producir y diferenciar perceptualmente las distintas vocales.

Los cambios anatómicos que determinan la configuración del VAS en la emisión de un determinado sonido y, por tanto, lo que determina la función de transferencia del filtro equivalente, se centra principalmente en la longitud del tracto vocal y en el valor de sus diámetros transversales. Los formantes constituyen los picos de resonancia de dicha función y su valor varía con la configuración adoptada por los elementos resonantes del tracto vocal.

Teniendo en cuenta las características anatómicas de la VAS asociadas al SAS, y como estos parámetros fisiológicos modelan la señal de voz actuando como filtros para la señal de las cuerdas vocales, podemos basar el estudio de la voz en la caracterización de los parámetros de estos filtros para los distintos grupos de pacientes, y de manera más concreta, en los formantes (picos de resonancia)

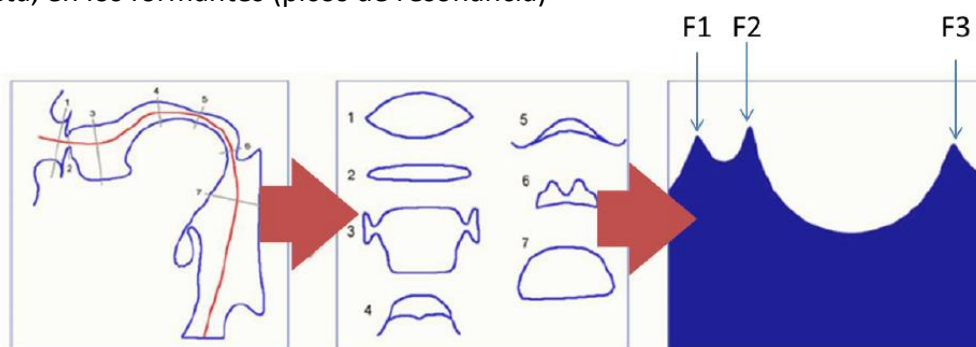


Figura 8: Acústica en el tracto vocal humano

Los dos primeros formantes contienen más información que los siguientes. A continuación, se puede apreciar la distribución típica de las diferentes vocales respecto a estos dos primeros formantes:

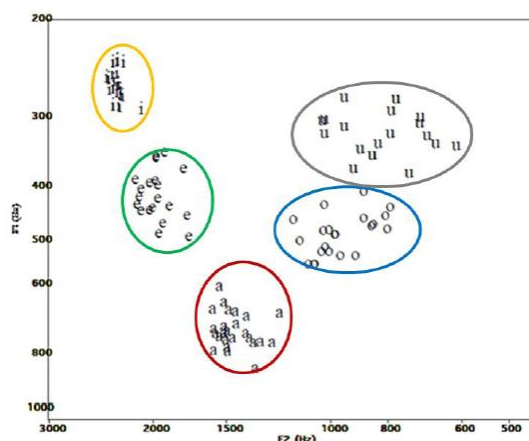


Figura 9: Distribución frecuencial de vocales en el tracto vocal

De la figura anterior se deduce la trayectoria que seguirán los dos primeros formantes, y basándonos en esto, hemos realizado la corrección de las etiquetas. A continuación, se pueden ver dos casos en el que el proceso automático no es lo suficiente preciso y como consecuencia, los resultados obtenidos en los estudios posteriores no serán los óptimos.

- No se detectan silencios entre palabras:

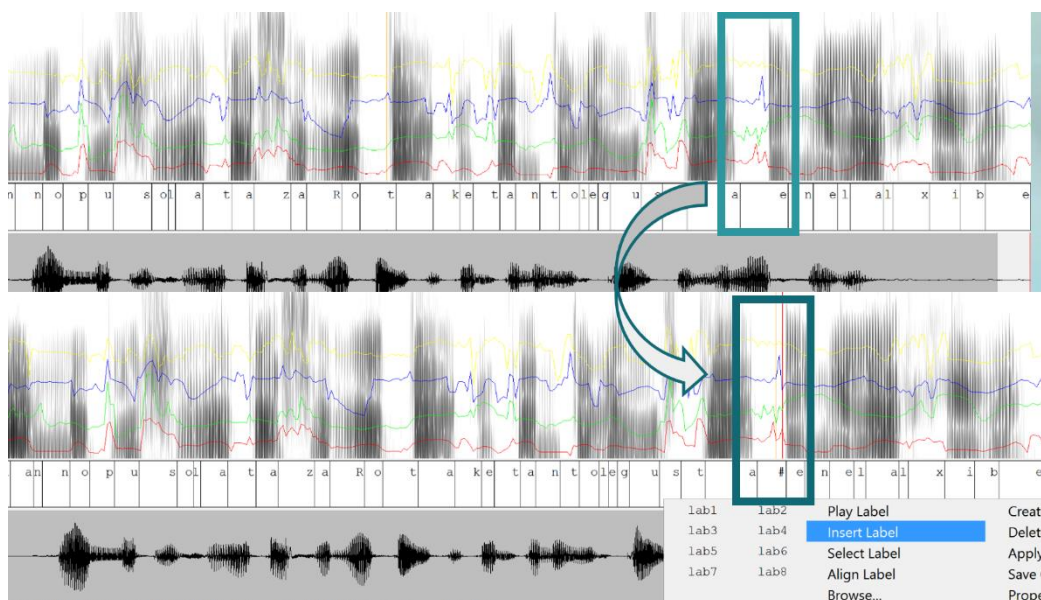


Figura 10: Corrección de silencios

- Error de etiqueta

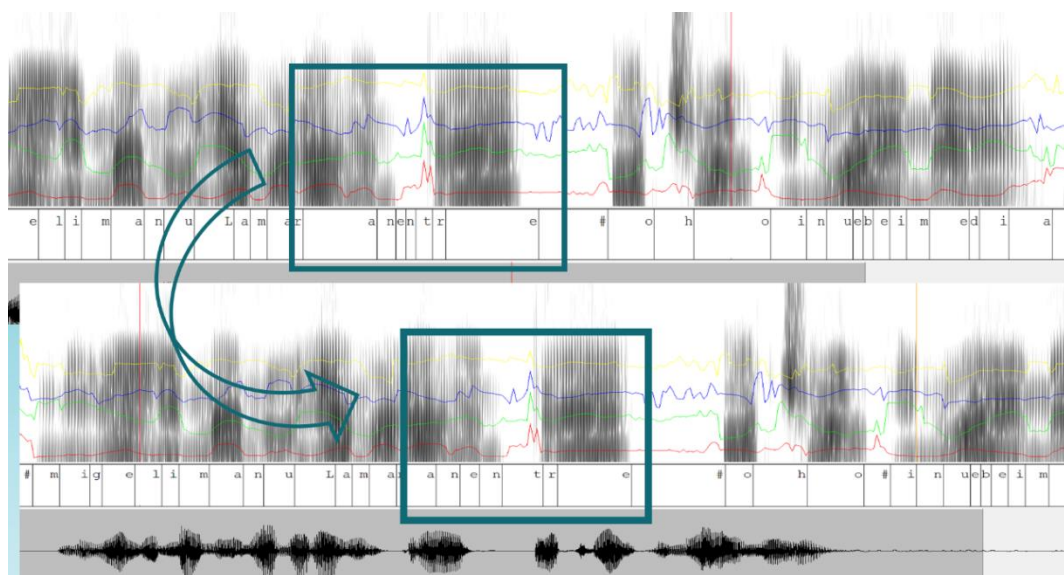


Figura 11: Corrección de sección

Cabe destacar que esta última parte del estudio perceptual, no afecta al estudio realizado ya que es una ampliación para estudios futuros de modo que los resultados se optimicen.

TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN

Recordando los objetivos ya mencionados anteriormente, lo que se quiere obtener en este apartado del proyecto es estudiar la capacidad discriminativa de las variables perceptuales para poder clasificar a los pacientes de SAS en un grupo específico en función del grado de IAH. Además determinaremos las variables que más han aparecido en la determinación de la enfermedad.

El siguiente esquema muestra una escueta representación del proceso llevado a cabo en este estudio:

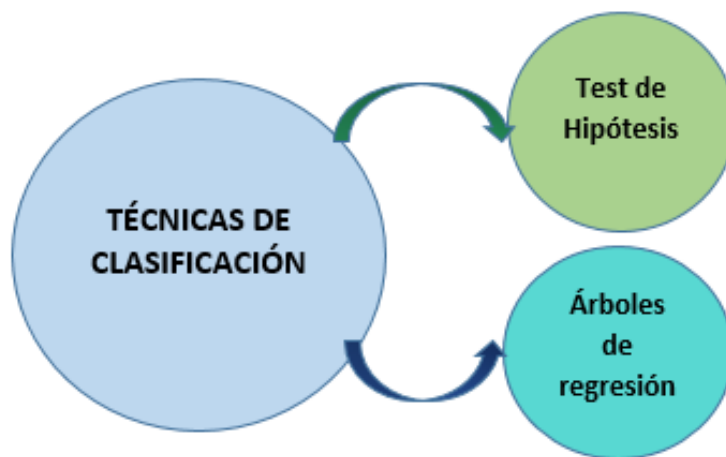


Figura 12: Algoritmo de las técnicas de clasificación

TEST DE HIPÓTESIS

Tras el análisis perceptual, hemos procedido a realizar una primera clasificación de las variables perceptuales extraídas de los audios mediante un test de hipótesis Naive Bayes entre proporciones.(2)

En primer lugar es interesante conocer la media y la distribución del IAH total, que corresponde al IAH de todos los pacientes estudiados en este proyecto, los 193 varones ya mencionados.

La **desviación típica** o **desviación estándar** (denotada con el símbolo σ o s , dependiendo de la procedencia del conjunto de datos) es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Para un estudio más exhaustivo de la aparición y el peso de las variables perceptuales según el nivel del índice de apnea hemos dividido los IAH en cuatro grandes grupos, los cuales están asociados a un nivel de la enfermedad. A partir de un IAH mayor o igual que un 10%, se considera a esa persona enfermo de SAS y, a cuanto mayor sea este IAH más enfermo se encuentra. Estos cuatro grupos con sus niveles son:

- **G1** (grupo 1 – **63 pacientes**): IAH <10% → SANO
- **G2** (grupo 2 – **130 pacientes**): IAH ≥ 10% → LEVE
- **G3** (grupo 3 – **135 pacientes**): IAH < 30% → MODERADO
- **G4** (grupo 4 – **58 pacientes**): IAH ≥ 30% → GRAVE

Al igual que para el total de IAH, también hemos calculado el IAH de los cuatro grupos mencionados. En la siguiente tabla podemos ver las medias y desviaciones correspondientes:

	IAH	IAH < 10%	IAH ≥ 10 %	IAH < 30%	IAH ≥ 30%
MEDIA	2,9067	1,4286	3,6231	2,2000	4,5517
DESVIACIÓN	1,3850	0,5879	1,0511	0,9835	0,5017

Tabla 12: Medias y Desviaciones de los diferentes grupos de IAH

Podemos observar que el grupo con la media más elevada es G4 que corresponde a niveles de IAH ≥ 30%, es decir, el mayor número de pacientes son enfermos graves de SAS. La inmediatamente inferior corresponde a G2, para índices de apnea ≥ 10% que son enfermos leves de SAS.

Podemos comparar mejor dichas medias y desviaciones representadas gráficamente en la siguiente figura:

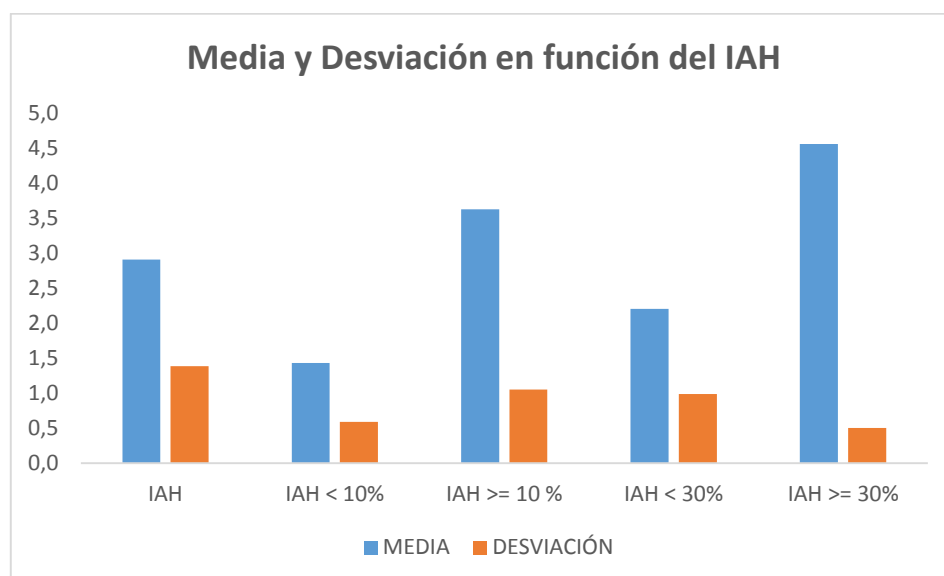


Figura 13: Representación gráfica de la media y desviación de los diferentes grupos de IAH

A continuación, hemos calculado los porcentajes de todas las variables perceptuales ya obtenidas de los 4 audios. Dichos porcentajes significan el número porcentual de veces

que ha aparecido la variable estudiada en una de las matrices (G1 – G4). En la tabla 12, que posteriormente hablaremos de ella, podemos ver estos porcentajes.

El test que ha sido utilizado para el cálculo de estos resultados ha sido el χ^2 (chi cuadrado). Este test ha sido el que se ha encontrado más adecuado y sencillo para estudiar si dos poblaciones son estadísticamente significativas o no. (13) (14)

Nos es de gran utilidad para la validez de este estudio como clasificador de SAS los resultados en términos del p-valor (*p-value*).

El **p-valor** nos indica que hay una diferencia significativa entre las dos proporciones analizadas. Indicaremos un grado de significancia a partir del cual las hipótesis de estas proporciones se rechazarán o no. Los grados de significancia deseados habituales y, por tanto, los utilizados en este estudio son del 95% y 99%, es decir, dos poblaciones empezarán a tener significancia a partir de un valor p inferior o igual al 0,05 y 0,01 respectivamente.

El p-valor lo hemos calculado para todas las variables perceptuales y en tres grupos diferentes según el IAH, siendo X las variables a analizar. Dichos grupos se dividen en:

Subgrupo 1	p-value	X < 10%
Subgrupo 2	p-value	10% < X < 30%
Subgrupo 3	p-value	X > 30%

Tabla 13: Grupos de p-valor

A continuación vamos a explicar los resultados más relevantes obtenidos de la clasificación del análisis perceptual referentes a la correlación y el p-valor. Es en la tabla 12 donde podemos ver todos los valores de correlación y p-valor calculados para todos los descriptores perceptuales.

Observando la tabla de resultados porcentuales, vemos que las variables que lo cumplen son:

Variable	%	p-value	%	p-value	%	p-value	%
<u>Francia y Hungría</u>	46,0317	0,001	69,2308	0,0606	55,5556	0,0035	75,8621
<u>manga</u>	-	-	-	-	52,5926	0,096	65,5172

Tabla 14: Resultados favorables del p-valor

Destacamos como resultado positivo el fragmento del comienzo de la primera frase **“Francia y Hungría”** donde el valor de P resultante para los tres grupos de p-valor es óptimo. El mejor de todos los resultados es el atribuido al subgrupo 3 de p-valor, ya que es muy inferior a 0,01, siguiéndole el perteneciente al subgrupo 2 y, por último, el resultado del subgrupo 1 que es ligeramente superior a 0,05.

Vamos a ver la relación entre estos resultados obtenidos y el sentido que tienen en los pacientes de SAS.

1. “**Francia**”, al comienzo de esta palabra aparece la “r” que es muy características entre los pacientes con SAS que tienden a nasalizar a la hora de pronunciarla. Es habitual que los pacientes de esta enfermedad no pronuncien bien las palabras con “r” entre medias.
2. “**Hungría**”, es habitual notar ciertas diferencias de pronunciación en partes de palabras donde aparezcan seguidas la “n” y la “g”. Esto es debido al cambio que tiene que hacer la lengua de la parte alta del paladar a una posición más retraída, produciendo nasalización en los pacientes con SAS.

Otra variable con un resultado bueno, aunque sobrepasa los límites considerados anteriormente para un buen valor P, es la palabra de la segunda frase “**manga**”, siendo su valor de 0,096. En esta palabra ocurre exactamente lo mismo que en “Hungria”, apreciamos nasalización por parte de la persona enferma.

Resultados en %	G1 (<10%)	p-value 1	G2(>=10%)	G3(<30%)	p-value 2	G4(>=30%)	p-value 3
NASAL F1	14,2857	0,2177	28,4615	17,037	0,1733	39,6552	0,1291
NASAL F2	19,0476	0,2177	37,6923	26,6667	0,1733	43,1034	0,1291
NASAL F3	9,5238	0,2177	26,9231	14,0741	0,1733	37,931	0,1291
NASAL F4	15,873	0,2177	23,8462	17,7778	0,1733	29,3103	0,1291
RESP INI F1	15,873	0,4413	20,7692	15,5556	0,7704	8,6207	0,3717
RESP INI F2	17,4603	0,4413	26,9231	22,2222	0,7704	27,5862	0,3717
RESP INI F3	23,8095	0,4413	27,6923	25,1852	0,7704	29,3103	0,3717
RESP INI F4	17,4603	0,4413	22,3077	18,5185	0,7704	25,8621	0,3717
RESP FIN F1	3,1746	0,8767	5,3846	2,963	0,9952	8,6207	0,8541
RESP FIN F2	7,9365	0,8767	8,4615	7,4074	0,9952	10,3448	0,8541
RESP FIN F3	6,3492	0,8767	8,4615	6,6667	0,9952	10,3448	0,8541
RESP FIN F4	11,1111	0,8767	7,6923	8,1481	0,9952	10,3448	0,8541
francia y hungria	46,0317	0,001	69,2308	55,5556	0,0606	75,8621	0,0035
hicieron	22,2222	0,1123	33,8462	24,444	0,1144	43,1034	0,0634
causa comun	47,619	0,1392	58,4615	53,3333	0,8873	58,6207	0,4732
julian no	52,381	0,5968	54,6154	54,0741	0,8556	53,4483	0,9963
manga	41,2698	0,0003915	63,8462	52,5926	0,2698	65,5172	0,0096
que ellos buscan	34,9206	0,0919	44,6154	37,037	0,2035	51,7241	0,0845
en ningun	31,746	0,0891	41,5385	34,8148	0,3699	46,5517	0,1306
almacen	28,5714	0,4683	30,7692	28,8889	0,9132	32,7586	0,7263
juan no	44,4444	0,577	45,3846	44,4444	0,4795	46,5517	0,9484
que tanto le gusta	50,7937	0,6428	41,5385	50,9737	0,9877	51,7241	0,9484
miguel y manu	47,619	0,4534	53,0769	47,4074	0,17	60,3448	0,2079
llamaran	57,1429	0,8483	53,0769	51,8519	0,418	60,3448	0,8368
9 y media	26,9841	0,5769	30,7692	28,1481	0,7482	32,7586	0,6079

Table 15: Resultados porcentuales obtenidos

p-value 1(<10->10)
p-value 2(<30->30)
p-value 3(<10->30)

ÁRBOLES DE REGRESIÓN

Por otro lado, hemos realizado una clasificación de árboles de regresión (Estudio Lingüístico), que analiza la relación de estas variables independientes con el IAH mediante el método de validación cruzada.

Los árboles de regresión son una técnica de análisis discriminante no paramétrica que permite predecir la asignación de muestras a grupos predefinidos en función de una serie de variables predictores. Es decir, que teniendo una variable respuesta categórica, los árboles de regresión nos van a permitir crear una serie de reglas basadas en variables predictores que nos van a permitir asignar una nueva observación a un grupo u a otro.(15)

Como hemos mencionado, el método empleado para obtener los resultados que veremos más adelante y los correspondientes árboles de regresión es una **validación cruzada**. Vamos a ver un ejemplo para ver en qué consiste:

- Disponemos de un total de 10 pacientes para realizar la validación:
 - Prueba 1)** Nueve pacientes escogidos al azar de entre los diez totales frente a uno, el restante.
 - Prueba 2)** Escogemos otros nueve pacientes aleatorios del total de diez frente al restante. Debido al carácter aleatorio de la elección de los pacientes, se van escogiendo pacientes distintos en cada prueba.
 - .
 - .
 - .
- Realizamos todas las pruebas posibles y, a medida que se van obteniendo más pruebas, el sistema se va entrenando.

Caso 1. Sanos y no sanos

La primera medida de árboles de regresión que hemos analizado es entre dos poblaciones, una población sana donde sus pacientes tienen un IAH por debajo al 10% frente a una población enferma con IAH mayores al 10%, considerando este porcentaje el corte entre personas enfermas o no.

Tendremos dos grupos identificados como “0” (sanos) y “1” (no sanos).

Una vez hemos terminado la prueba, estos son los resultados obtenidos:

Caso 1	Población 1 <10% IAH < Población 2
nbGauResubErr	0.3316
nbGauCVerErr	0.3990
dtResubErr	0.1399
dtCVerErr	0.4301
ldaResubCM	118 12 15 48

Tabla 16: Medidas con árbol de regresión para el caso 1

- En el primer resultado obtenido, ***nbGauResubErr***, vemos que hay un error de entrenamiento del 33,16% frente a un porcentaje de aciertos del 66,84% mediante Bayes. Esto significa que tenemos un mayor número de aciertos que de fallos.
- ***nbGauCVer*** nos indica el valor de la validación cruzada, siendo este del 39,90%.
- El tercer resultado, ***dtResubErr***, nos indica el porcentaje de error con el árbol de regresión, siendo este error del 13%.
- Mientras que el error producido por la validación cruzada en este caso es del 43,01%, ***dtCVer***. Podemos observar que el error obtenido con el árbol de regresión es considerablemente inferior al último, esto es debido a que el árbol es más propenso a “sobre entrenamiento”, como consecuencia de todas sus ramas.
- La última medida obtenida es ***IdaResubCM***. Esta medida es el error de clasificación obtenido sobre los mismos datos que fueron utilizados para entrenar el clasificador (por ejemplo el árbol de regresión). Por tanto presenta un error de clasificación menor que si se utilizasen para calcularlo datos que no hubiesen participado en el entrenamiento. Luego en resultados significa que hay 118 frente a 12 para el caso de personas con IAH menor que 10% y 15 frente a 48 para pacientes con IAH mayor que 10%.

Relación entre resubstitution y validación cruzada

La figura siguiente nos da la relación entre el error de clasificación obtenido con los datos de entrenamiento (resubstitution) (curva roja) y la obtenida utilizando un proceso de validación cruzada en la que los datos para calcular el error no han participado en el entrenamiento (curva azul). Por esta razón la curva roja (resubstitution) siempre es mejor ya que está muy por debajo de la curva azul que se traduce en un error de clasificación menor.

Sin embargo, que la curva roja esté muy por debajo de la azul no es bueno, ya que indica que el clasificador clasifica con un error muy bajo los datos con los que ha sido entrenado, y muy mal datos que no han participado en el entrenamiento, es decir, se ha “sobre ajustado” a los datos de entrenamiento y no es capaz de generalizar a datos nuevos que no han participado en el mismo. Esto se conoce como *over-fitting* y ocurre cuando el clasificador tiene demasiados parámetros para la cantidad de datos de entrenamiento, que se traduce al árbol de regresión en numerosas ramas.

Por eso la gráfica muestra que para que no haya *over-fitting* (y la curva roja no esté muy alejada de la azul) el árbol tiene que tener muy pocos nodos terminales: 2 ó 3. A partir de ahí el error con los datos de entrenamiento empieza a bajar y se aleja del error con datos que no han participado en el entrenamiento, que serían los datos con los que tendría que funcionar en realidad.

Se aprecia como a partir del nodo 4 la diferencia entre ambas curvas empieza a ser muy grande.

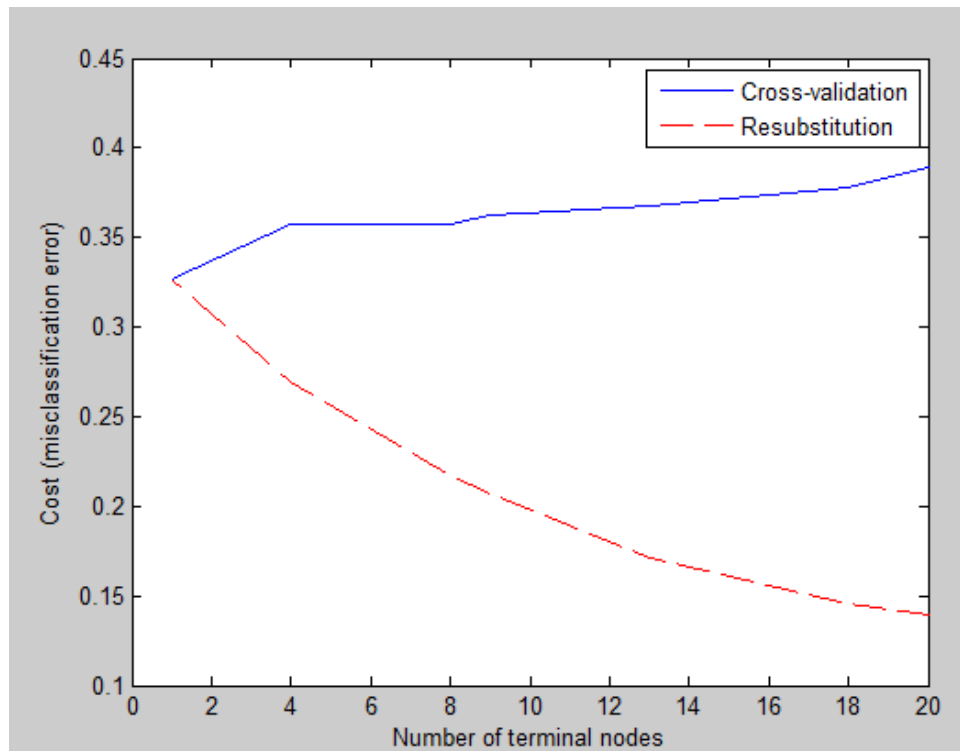


Figura 14: Validación cruzada – Resubstitution error para el caso 1

A continuación podemos ver el árbol de regresión completo correspondiente a este primer caso. Observamos que el árbol está formado por un total de 6 niveles. Procedemos a explicar los niveles más influyentes del árbol.

1. En primer lugar y como nodo principal del árbol nos encontramos con la palabra **“manga”**. Como ya habíamos visto anteriormente en la clasificación, esta palabra corresponde a una de las tres seleccionadas como resultados favorables y con una gran relación con los pacientes de SAS.
2. En el segundo nivel del árbol nos encontramos con la **nasalización** y las **respiraciones iniciales y finales**. Hemos podido ver a lo largo de todo el estudio realizado en este proyecto que estos dos rasgos tienen mucha relación con los pacientes del síndrome de la apnea, encontrándolos en ciertas palabras a la hora de su pronunciación.

El resto de niveles del árbol de regresión y las variables perceptuales que los forman se pueden ver en la figura 14 detalladamente.

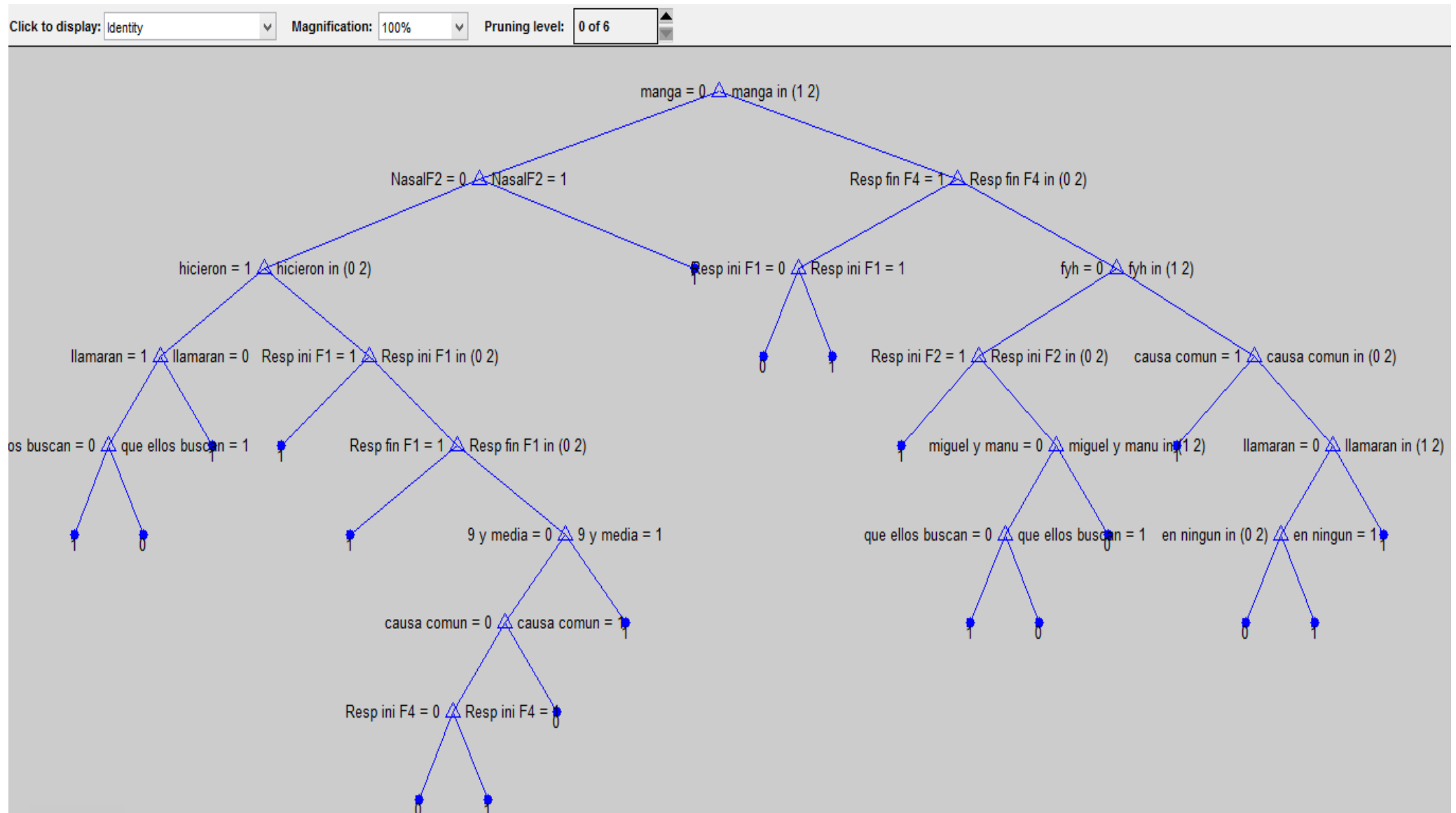


Figura 15: Árbol de regresión para el caso 1

Caso 2. Graves y no graves

La segunda medida de árboles de regresión que hemos analizado es entre dos poblaciones ambas con síndrome de la apnea durante el sueño. La diferencia entre las dos poblaciones reside en la gravedad de la enfermedad, es decir, un nivel de IAH por debajo o por encima de 30%, considerando tener un nivel grave para valores del índice de apnea por encima de este porcentaje.

Tendremos dos grupos identificados como “0” (no graves) y “1” (graves).

Una vez hemos terminado la prueba, estos son los resultados obtenidos:

Caso 2	Población 1 <30% IAH < Población 2
nbGauResubErr	0.3212
nbGauCVerErr	0.3627
dtResubErr	0.1762
dtCVerErr	0.3420
IdaResubCM	27 26 8 132

Tabla 17: Medidas con árbol de regresión para el caso 2

- Como primer resultado, **nbGauResubErr**, vemos que existe un error de entrenamiento del 32,12% frente a un porcentaje de aciertos del 67,87% mediante Bayes, lo que significa que tenemos un mayor número de aciertos que de fallos.
- **nbGauCVerErr** indica el valor de la validación cruzada, siendo este del 36,27%.
- El siguiente resultado, **dtResubErr**, corresponde al porcentaje de error con el árbol de regresión que es de un 17,62%.
- **dtCVerErr** el error producido por la validación cruzada que es de un 34,20%.
- El último resultado, **IdaResubCM**, explicado en el caso anterior, hemos obtenido 27 frente a 26 para el caso de pacientes no graves y 8 frente a 132 para pacientes graves.

Relación entre resubstitution y validación cruzada

Podemos apreciar en la gráfica que aparece a continuación como se produce un salto entre ambas curvas creándose una separación muy diferencial a partir del nodo 5 y se van alejando gradualmente. Concluimos entonces que el nodo 5 será el número de nodos máximos del árbol para que no se produzca *over-fitting*. A partir de ahí los datos estarían “sobre entrenados” y no se atenderían bien a nuevos datos.

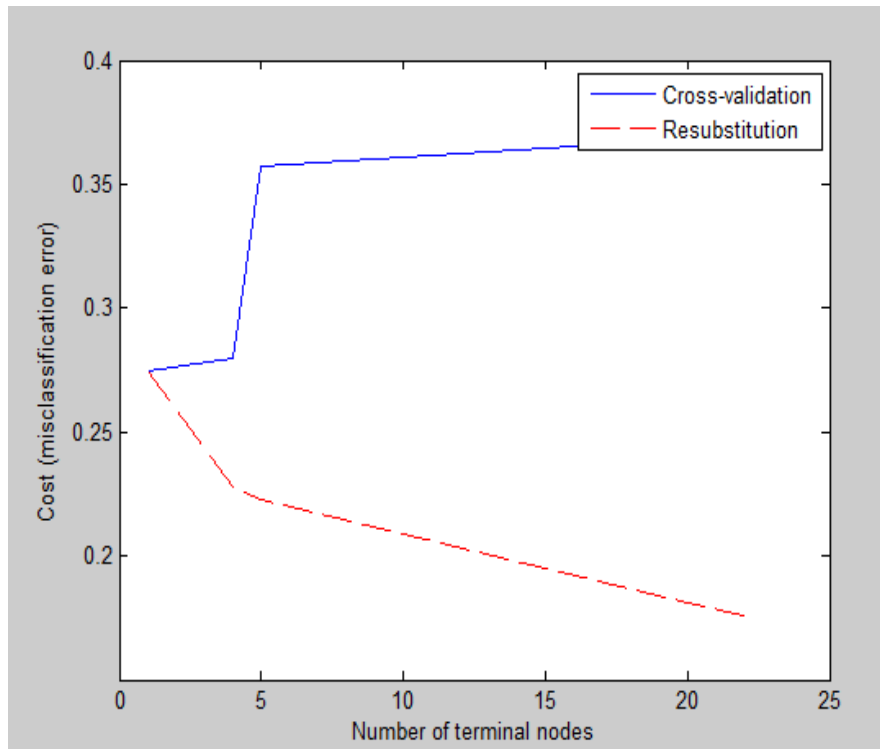


Figura 16: Validación cruzada – Resubstitution error para el caso 2

En la figura 16 que aparece a continuación podemos ver el árbol de regresión completo correspondiente a este caso de estudio. Dicho árbol lo forman 4 niveles donde se encuentran el conjunto de variables perceptuales que afectan a estos niveles. Vamos a detallar los resultados más relevantes:

1. Ocupando la posición del nivel 1 del árbol aparece el rasgo de **nasalización**. Este es uno de los rasgos más importantes encontrados en el estudio para la clasificación de los pacientes, aunque es un rasgo que puede aparecer en personas que no padezcan esta enfermedad.
2. En el segundo nivel del árbol nos encontramos de nuevo con la **nasalización** y las por primera vez hasta ahora con las palabras **“en ningún”**. Lo más significativo de este conjunto de palabras en relación con el SAS es la parte en la que el paciente tiene que pronunciar **“-ng-”** que, como ya hemos explicado en apartados anteriores, la dificultad reside en el cambio que tiene que hacer la lengua de la parte alta del paladar a una posición más retraída, produciendo nasalización.

El resto de niveles del árbol de regresión y las variables perceptuales que los forman se pueden ver en la figura 14 detalladamente.

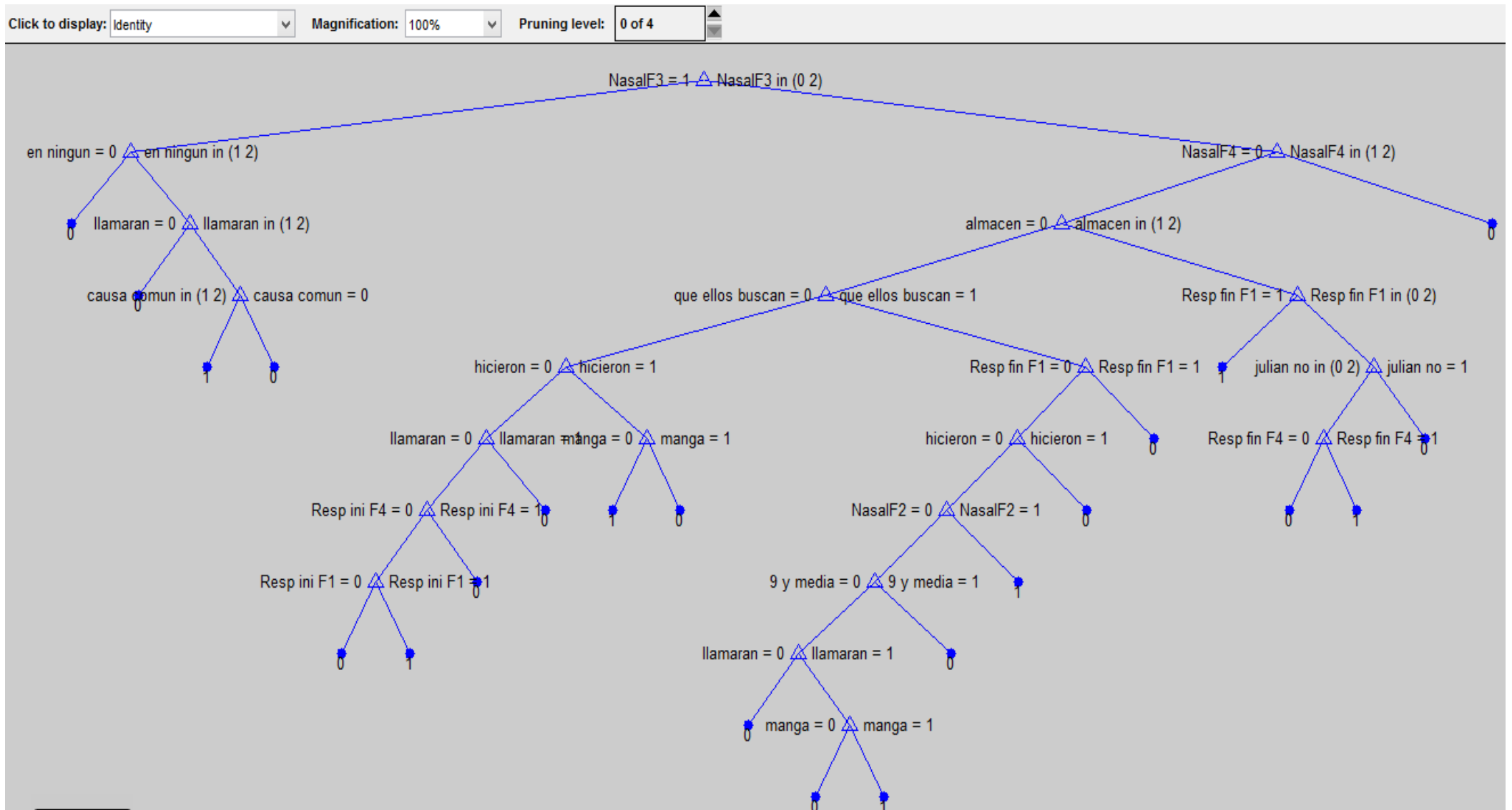


Figura 17: Árbol de regresión para el caso 2

Caso 3. Para todo IAH

La tercera medida de árboles de regresión obtenidos tiene en cuenta los dos rangos en función del índice de apnea que se han estudiado hasta ahora. Un primer rango que va desde un valor 0% del IAH hasta el 10% de este mismo, un segundo rango que comienza donde finaliza el primero y asciende hasta un 30% del valor del IAH de los pacientes, y un último rango desde el final del segundo hasta su totalidad.

Es por esta división de los niveles de IAH que en este tercer caso de árboles de regresión se tienen en cuenta los tres perfiles de paciente definidos en este proyecto así como todos los posibles valores del índice de la apnea.

Tendremos dos grupos identificados como “0” (sanos), “1” (leves) y “2” (graves).

Una vez hemos terminado la prueba, estos son los resultados obtenidos:

Caso 3	Población 1 <10% IAH < Población 2
nbGauResubErr	0.5440
nbGauCVerErr	0.6218
dtResubErr	0.2073
dtCVerErr	0.6010
IdaResubCM	42 8 3 8 60 9 3 9 51

Tabla 18: Medidas con árbol de regresión para el caso 3

- El primer resultado obtenido, **nbGauResubErr**, tienen un error de entrenamiento de 54,40% frente al 45,6% que se obtiene como porcentaje de aciertos mediante Bayes. Esto significa que en este tercer caso, se equivocará más en determinar qué personas padecen el síndrome y con qué nivel que en acertar.
- **nbGauCVerErr** nos indica el valor de la validación cruzada, siendo este del 62,18%.
- El tercer resultado, **dtResubErr**, nos indica el porcentaje de error con el árbol de regresión, siendo este error del 20,73%.
- El error producido por la validación cruzada es del 43,01%, **dtCVerErr**.
- El último resultado, **IdaResubCM**, explicado en el primer caso, para IAH inferiores a 10% los resultados corresponden a la primera fila (42 8 3), la segunda fila (8 60 9) son los resultados correspondientes a IAH entre 10% y 30%, y la última fila (3 9 51) los resultados para IAH mayores que 30%.

Relación entre resubstitution y validación cruzada

En este caso comienza a haber *over-fitting* ya en el primer nodo del árbol y las curvas comienzan a alejarse notablemente, lo que nos indica que los resultados obtenidos no son muy favorables. Esto puede deberse en este caso especialmente debido al elevado número de parámetros en comparación con la cantidad de datos de entrenamiento, de aquí las numerosas ramas del árbol.

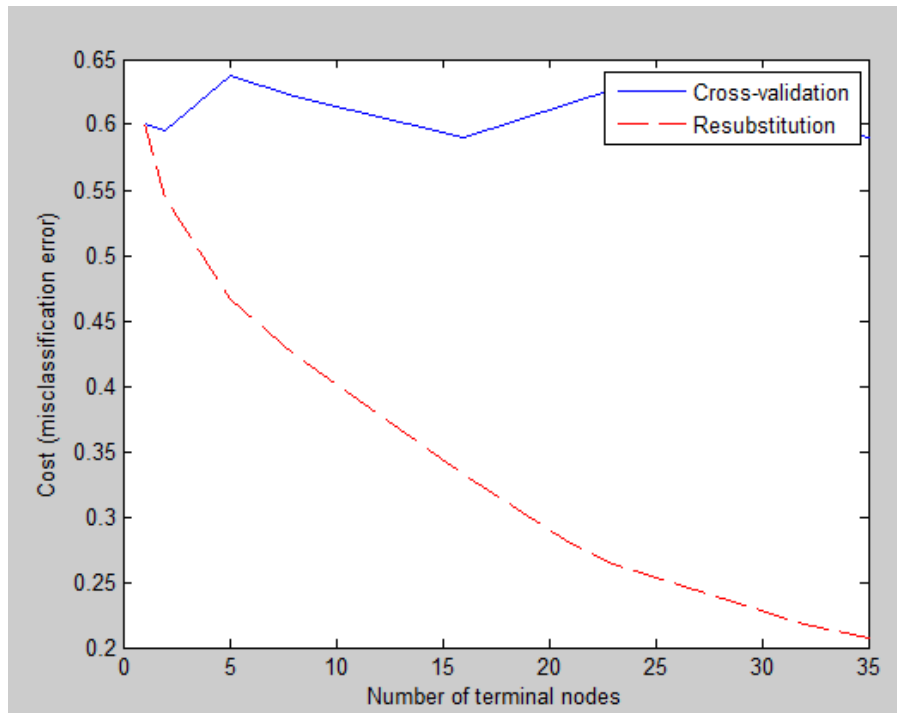


Figura 18: Validación cruzada – Resubstitution error para el caso 3

En la siguiente figura encontraremos el árbol de regresión completo correspondiente a este primer caso. En este último caso está formado por un máximo de 8 niveles donde aparecen todas las variables perceptuales ordenadas de mayor a menor relevancia. Los marcadores más influyentes son:

1. En el nodo principal reaparece la palabra “**manga**” que ya había aparecido en la misma posición para el caso 1. Podemos concluir con esto que analizando a los pacientes en todos sus posibles valores de IAH, la palabra “manga” es la más significativa en relación con la apnea, al igual que si hacemos el análisis para diferenciar entre pacientes sanos y no sanos.
2. De nuevo el rasgo perceptual que aparece en el segundo nivel del árbol son las **respiraciones**, en este caso sólo finales, como ya habíamos visto también en el caso 1. Este será otro de los resultados importante como rasgo perceptual en pacientes de SAS.

El resto de niveles del árbol de regresión y las variables perceptuales que los forman se pueden ver en la figura 14 detalladamente.

54

CONCLUSIONES

Enlace ambos proyectos. Habría dos vertientes. Si hubiese un rasgo subjetivo que se puede distinguir acústicamente en el proyecto de Bárbara y además es muy discriminativo entre dos grupos de IAH (edades), este rasgo sería un resultado positivo ya que es un rasgo que se puede destacar tanto perceptual como acústicamente.

El diagnóstico del Síndrome de Apneas-Hipopneas durante el Sueño (SAHS) basado en la definición de un patrón de voz patológica que permita identificar sujetos con Apnea supondría, teniendo en cuenta la pequeña porción de casos diagnosticados y la prevalencia del SAS, un enorme impacto en los procesos de detección y tratamiento.

Hemos estudiado el comportamiento de distintas técnicas de procesamiento acústico aplicadas en el estudio de segmentos de habla continua y distintas técnicas de clasificación aplicadas a marcadores perceptuales. Estos marcadores perceptuales y sus correspondientes segmentos acústicos, se han obtenido por medio de un análisis perceptual subjetivo, llevado a cabo para determinar la capacidad discriminativa del oído humano no entrenado, en voces sospechosas de padecer el Síndrome de Apneas-Hipopneas durante el Sueño.

A continuación se recogen las conclusiones obtenidas a partir de los resultados de ambos proyectos en conjunto. El que se expone en este documento y el realizado por Bárbara Recarte Steegman. Lo hacemos de este modo, porque para obtener conclusiones sobre el objetivo final del proyecto, es necesario tener en cuenta los resultados obtenidos en los dos proyectos y su relación.

La primera técnica empleada en el estudio realizado por Laura Soria Simón, consiste en un test de hipótesis Naive Bayes donde el test empleado para los cálculos de los resultados por sus características y sencillez, ha sido el χ^2 (chi cuadrado). Este test permite averiguar si dos poblaciones son estadísticamente significativas o no y es el p-valor el que nos indica si existe dicha diferencia significativa entre las dos. El grado de significancia empleado entre las hipótesis es del 95% y del 99%, siendo el segundo el mejor caso. Por tanto dos poblaciones empezarán a tener significancia entre sí a partir de un valor p inferior o igual al 0,05 y 0,01 respectivamente. Los resultados más relevantes que hemos obtenido han sido en las palabras:

- **Francia y Hungría**, donde los porcentajes de aparición en pacientes de SAS en función de los grupos de IAH obtenidos, se encuentran entorno al 46% para el primer subgrupo de matrices (IAH<10%), al 69% para el segundo subgrupo (IAH>10%), al 55,5% para el tercer subgrupo (IAH<30%) y por último, al 75% para el cuarto (IAH>30%)

- **Manga**, aunque no presenta significancia relevante hasta valores de IAH >30%. Sus resultados porcentuales son del 52,5% para el subgrupo 3 (IAH<30%) y del 65,5% para el último (IAH>30%).

Todos estos resultados son significativos debido a sus valores p calculados están entre 0,01 y 0,05. Para valores de p value comprendidos entre estos dos valores, la variable es significativa.

La segunda técnica de clasificación empleada son los árboles de regresión, mediante el método de validación cruzada, con los que se ha obtenido la relación de las variables analizadas con el IAH y la dependencia entre unas y otras en forma de árbol. Se han realizado tres casos de estudio:

1. En el primer caso, donde diferenciamos a la población entre personas sanas y no sanas, vemos que las variables más significativas del árbol es la palabra **manga** y a continuación la **nasalidad** y las **respiraciones iniciales y finales**. Estos son los rasgos más frecuentes en personas con SAS con un índice de apnea en torno al 10%.
2. En el segundo caso, diferenciando entre personas con IAH elevados, pacientes graves, y no graves, se han obtenido como variables más significativas la **nasalidad** de las frases completas y en concreto las palabras **en ningún**.
3. Por último, el caso que engloba los tres niveles de IAH (leve, alto y severo) y, por tanto a todos los pacientes de SAS analizados en este estudio con sus respectivos índices de apnea. Los resultados obtenidos señalan a la palabra **manga** y las **respiraciones iniciales y finales** como las variables de mayor peso en el árbol de regresión.

Hasta este punto, se encuentran las conclusiones obtenidas del estudio de técnicas de clasificación de descriptores perceptuales que se describe en este documento, las cuales guardan una estrecha relación a la hora de determinar las conclusiones del siguiente estudio acústico (Bárbara).

De los dos algoritmos de análisis espectral, es el K-NN el que nos proporciona más información relevante. De los datos obtenidos, podemos ver como los porcentajes varían a veces irracionalmente en función del tamaño de la vecindad, lo que se debe a el reducido tamaño de la base de datos. Por esta razón, teniendo estos datos en cuenta, se ha considerado para este estudio un valor de K válido de 11 pacientes por vecindad. De este modo, si nos fijamos en los parámetros marcados como relevantes en el estudio de técnicas de clasificación: **manga, Francia y Hungría y en ningún**; se puede ver como en los porcentajes de **aciertos_1 superan todos el 70%**. Estos datos son muy positivos ya que determinan que estos parámetros son discriminativos tanto perceptual como acústicamente.

Otro caso son los demás parámetros que aunque no se han obtenido rasgos discriminativos de SAS muy elevados, un reconocedor acústico sí es capaz de encontrarlos que pacientes lo tienen marcado como nasal y cuáles no, como por ejemplo: **causa común (aciertos_1 = 82, 08%), llamarán (aciertos_1 = 84,91%) y Julián no, que ellos buscan y que tanto le gusta** con un porcentaje de aciertos_1 en torno al **63-69%**. Estos parámetros pueden ser válidos a la hora de determinar qué nivel de Apnea tiene un paciente, ya que los datos obtenidos con el segundo algoritmo son ligeramente orientativos.

El segundo algoritmo que clasifica la capacidad discriminativa de los parámetros en función del IAH, aunque ligeramente orientativos, no ha dado los resultados esperados. Como ya se ha podido apreciar en las imágenes de clasificación obtenidas, aparecen dos secciones en las se agrupan por cercanía espectral los pacientes con menor IAH (leve) por un lado y los de mayor IAH (severo) por otro. Sin embargo, las dos agrupaciones restantes se deben a factores independientes al SAS, lo que emborrona y cuestiona la fiabilidad de los resultados. Por esta razón, se considera este algoritmo como válido en ciertas regiones aunque es necesario especificar y depurar los rasgos independientes de padecer SAS o no en futuros estudios.

Por último, están aquellos parámetros que ninguna de las técnicas anteriores ha logrado discriminar. Estos parámetros son: hicieron y nueve y media con porcentajes de aciertos_1 por debajo del 15% y sin capacidad discriminativa como parámetro perceptual.

A pesar de que las prestaciones alcanzadas en los modelos desarrollados hasta el momento no parecen suficientes como para incorporar la práctica de esta metodología en el proceso de diagnóstico de SAS, los resultados confirman la hipótesis inicial. Es decir, se verifica que estos estudios siguen encontrando las mismas diferencias entre la población sana y la que padece SAS, que en los estudios anteriores realizados por Robb, Fox y Monoson, lo que invita a continuar esta línea de investigación, por ejemplo, estudiando más a fondo qué tipo de segmentos o unidades lingüísticas representan de forma más precisa la influencia de las anomalías anatómicas de la VAS en los pacientes con SAS y mejorando la segmentación fonética de las grabaciones de cada paciente.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Diagnosis and treatment of sleep apnea-hypopnea syndrome*. SEPAR. 2011, Archivos de Bronconeumología .
2. M., Mitchell Tom. *Machine learning*. s.l. : McGraw-Hill, 1997. Ch. 6.
3. *Afección en la población del Síndrome de Apnea-hipopnea del Sueño*. s.l. : Portal de Salud de la Comunidad de Madrid, 2015.
4. Guilleminault, Christian; A, Tilkian; Dement WC. "*The sleep apnea syndromes*". s.l. : Annual Review of Medicine, 1976.
5. A., D. Jorge Jorquera. *Síndrome de la Apnea Obstructiva del Sueño* .
6. Flemons WW, Littner MR, Rowley JA, Gay P, Anderson WM, Hudgel DW, McEvoy RD, Loube DI. «*Home diagnosis of sleep apnea: a systematic review of the literature*». 2003.
7. SEPAR. *Diagnosis and treatment of sleep apnea-hypopnea syndrome*. 2011.
8. Patil S.P., Schneider H., Schwart A.R., Smith P.L. *Adult obstructive sleep apnea. Pathophysiology and diagnosis*. 2007.
9. Real, Esp. *Ápnea del Sueño: Menos de un 10% de los pacientes son tratados*. *La Nueva España*. www.lne.es. 03 16, 2015.
10. A. W. Fox, P. K. Monoson & C. D. Morgan. «Speech dysfunction of obstructive sleep apnea. A discriminant analysis of its descriptors». *CHEST ONLINE*. 1989.
11. Fox, P. K. Monoson and A. W. «Preliminary observation of speech disorder in obstructive and mixed sleep apnea». *CHEST ONLINE*. 1987.
12. *Vocal tract resonance characteristics of adults with obstructive sleep apnea*. Robb. 1997.
13. Pearson, karl. *Karl Pearson and the Chi-Squared Test*. s.l. : Plackett, R.L., 1983. 59-72.
14. *Analysis of the Anthropometric, Epidemiological, and Clinical Parameters in Patients With Snoring and Obstructive Sleep Apnea*. Juan Ramón Iriondo Bedialauneta, Francisco Santaolalla Montoya, Enrique Moreno Alonso, Agustín Martínez Ibargüen and José María Sánchez Fernández. 2007. pg. 415.
15. M., Mitchell Tom. *Machine learning*. s.l. : McGraw-Hill , 1997. pp. 55–58.
16. *Apnea*. Fox. 1997, Journal, pp. 10-20.
17. Méndez J., Hernando J., Nadeu C., Valverdú F. «*Esquema Unificado de la Parametrización de la Señal de Voz en Reconocimiento del Habla*». Barcelona, s.f. : s.n.
18. Martín Barrio, Cristina. «*Estudio de la Aplicación de Técnicas de Tratamiento Digital de la Voz para la Detección de Patologías*». s.l. : UPM: Proyecto Fin de Carrera, 2013.
19. R., Fernández Pozo. «*Técnicas de Caracterización de Voces como Apoyo a la Detección Automática de la Apnea del Sueño*». Madrid : ETSIT UPM: Tesis Doctoral, 2011.
20. Arroyo Gallego, Teresa. «*Análisis y modelado de unidades lingüísticas para la caracterización de voces asociadas al síndrome de apneas-hipopneas durante el sueño*». Madrid : ETSIT UPM: Proyecto Fin de Carrera, 2014.

ANEXOS

Carpetas con el contenido del proyecto y otros recursos que se han utilizado para la realización del mismo.

PROYECTO

- UNID_LINGÜÍSTICAS
- DATOS
 - eti: *etiquetas de los audios*
 - REVISION: *etiquetas revisadas de los audios*
 - Voz: *audios*
- DOCUMENTOS
 - Artículos
- PROGRAMAS: *Matlab*
 - Wavesurfer

ANALISIS BARBARA_LAURA_300

- eti
- voz
- ANALISIS_BARBARA_LAURA_300

EXCEL

- RESULTADOS
- TABLA
- TABLA_COMPLETA
- TABLA_COMPLETA_SIN
- ACIERTOS_ERRORES

ARCHIVOS MATLAB

- Calculo_SPECTROGRAM_Unidades.m
- DistanciasDTW_CAUSA_COMUN_ffff.m (un archivo para cada variable)
- DistanciasDTW_v2.m
- DistanciasDTW_v3_MANUELYMANU.m
- DistanciasDTW_v3_MANGA.m
- leeExcel
- Ejemplo_Predictores
- prop_test